

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Tesis previa a la obtención del título de
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:
DISEÑO DE UN SISTEMA PARA RECOLECCIÓN DE PARTÍCULAS DE
PINTURA.**

**AUTORES:
JORGE DAVID ALMEIDA LANDI Y
LUIS EDUARDO MOLINA AGUIRRE**

**DIRECTOR:
ING. ENRIQUE FERNANDO LARCO CALVACHE M.Sc**

Quito, Octubre del 2014

Certifico que el presente trabajo, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico ha sido realizado en su totalidad por los señores Jorge David Almeida Landi y Luis Eduardo Molina Aguirre.

Los conceptos desarrollados, análisis, cálculos realizados, conclusiones y recomendaciones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Ing. Enrique Fernando Larco Calvache M.Sc
DIRECTOR DE TESIS

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Jorge David Almeida Landi y Luis Eduardo Molina Aguirre, declaramos bajo juramento que la investigación realizada es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentada y que se han consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente documento.

A través de esta declaración cedemos el derecho de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y normativa vigentes.

Jorge David Almeida Landi
C.I. 172048786-5

Luis Eduardo Molina Aguirre
C.I. 171613298-8

Quito, 21 de Octubre del 2014

Agradecemos...

*A la Universidad
Politécnica Salesiana por darnos la
oportunidad de estudiar y de ser
profesionales.*

*A nuestro director de
tesis, Ing. Fernando Larco por su
esfuerzo y dedicación, quien con sus
conocimientos, su experiencia y
motivación ha logrado que podamos
concluir con éxito nuestros estudios.*

*A nuestros profesores
que durante toda la carrera nos han
impartido sus conocimientos, que han
sido de gran ayuda para nuestra
formación profesional.*

Luis y David

Dedico...

A mis padres que han sabido inculcarme principios y valores que me han ayudado en mi vida personal y profesional, por su esfuerzo y comprensión, por enseñarme que con perseverancia se pueden cumplir las metas propuestas.

A mi abuelita que ha sido incondicional y ha sabido guiarme por el camino correcto por medio de sus consejos y enseñanzas.

Y a mi hermana y tíos, que son un complemento en mi vida y han estado apoyándome en todo momento.

Luis Eduardo

Dedico...

A mi madre que con su ejemplo de superación y sus enseñanzas me dio la fuerza necesaria para continuar y vencer las adversidades que se me presentan día con día.

A mi abuelita que es un pilar fundamental en mi vida y gracias a su sabiduría supo guiarme en mis decisiones

A mi padre que me apoya en cada paso que doy hacia mis objetivos

Y a mis hermanos y tíos que con sus palabras de aliento me dieron la fuerza para nunca bajar los brazos hasta conseguir mis objetivos.

Jorge David

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un buen flujo de aire en los lugares de trabajo es de mucha importancia para la productividad y para la salud. Una ventilación adecuada puede ayudar al control de sustancias peligrosas y a evitar la excesiva acumulación de calor.

Una de las formas de conseguirlo, es a través del diseño e implementación de un sistema de ventilación, principalmente para el control de la exposición a contaminantes químicos de diverso tipo en los lugares de trabajo (partículas sólidas finamente divididas en forma de polvo en suspensión o líquidos en forma de neblinas), así se garantizará que las concentraciones del contaminante se encuentren en niveles que no generen riesgo a la salud de los trabajadores.

El mantener un correcto sistema de ventilación, que controle o elimine los agentes contaminantes insertos en ambientes industriales, evitará posteriores daños, tanto a la salud de los trabajadores, como también a las instalaciones o al medio ambiente.

Por tanto, al no tener un sistema de ventilación y recolección adecuado de partículas para la cabina de pintura en la empresa Proyectos Mecánicos PROMEC S.C.C., se genera un exceso de partículas líquidas en forma de neblina durante el proceso de pintura, lo que es perjudicial para la salud de los trabajadores e impide seguir con el ritmo de trabajo por la falta de visibilidad, debido a que no se puede evacuar de manera inmediata provocando pérdidas de tiempo mientras se espera que esta se disipe y caigan por efecto de la gravedad alrededor de una hora, obteniendo pérdidas económicas y produciendo daños superficiales en máquinas, tanques y estructuras.

JUSTIFICACIÓN

Esta tesis está orientada a desarrollar el diseño de un sistema de recolección de partículas de pintura que busca conseguir excelentes resultados en un medio adecuado de trabajo; este sistema es el responsable de crear la corriente o flujo de aire utilizado para arrastrar toda la niebla de pulverización que se genera durante el proceso de pintado, este flujo de aire permite trabajar en un área visible y limpia evitando posibles pulverizados o contaminaciones adheridos sobre la superficie recién pintada de tanques y estructuras metálicas que se producen en la empresa Proyectos Mecánicos PROMEC S.C.C, por otro lado el flujo producido por dicho sistema permite obtener renovaciones de aire en el interior de la cabina.

La implementación de un separador centrífugo en el sistema, ayudará a recolectar el material tóxico evitando la contaminación ambiental.

Debido a que en la cabina de pintura de la empresa mencionada no tiene un sistema de recolección, el material particulado en forma de neblina se acumula y es necesario esperar que se disipe y caiga por efecto de la gravedad para continuar con el trabajo, lo cual afecta a los acabados de estructuras y tanques ya que dichas partículas caen sobre las superficies recién pintadas, lo que implica tiempos muertos y pérdidas económicas para la compañía, por tanto el diseño de un sistema de recolección de partículas mejorará las condiciones ambientales en el trabajo, evitando daños en las estructuras y tanques, aprovechando el tiempo y recursos, precautelando la salud de los trabajadores y cuidando el medio ambiente.

ALCANCE

En el presente proyecto se pretende diseñar un sistema de recolección de partículas producidas en el proceso de pintura, para lo cual se realizarán los cálculos pertinentes, se seleccionarán los equipos adecuados y se elaborarán los planos de fabricación de dicho sistema.

Este sistema evitará la acumulación de partículas de pintura suspendidas en el aire, caso contrario se producen inconvenientes como: tiempos improductivos al tener que esperar a que se disipe la neblina generada por el proceso; contaminación de productos y maquinaria presente en el área y daños en la salud de los operarios, además, mejorar el ambiente de trabajo y así poder evitar pérdidas económicas por los problemas mencionados.

El sistema limpiará el aire contaminado captándolo en primera instancia por medio de campanas (hoods) de captación, que hacen que el aire vaya por los ductos hacia el ciclón donde por efecto de la fuerza centrífuga separa las partículas sólidas de pintura del aire dejándolo limpio, este aire sale del ciclón por el efecto de vórtice para pasar a un segundo ducto que lo llevará hasta el ventilador saliendo al ambiente.

Así se obtendrá aire limpio expulsado a la atmósfera y partículas sólidas en forma de polvo recogidas en un recipiente.

Se presentará además un capítulo de costos en donde se detalla el valor que representa el diseño pero también, a manera de información y por pedido de la empresa auspiciante, se detallan los costos de fabricación y montaje del sistema.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar un sistema para recolección de partículas de pintura.

Objetivos Específicos

- Diseñar el sistema de recolección de partículas de pintura.
- Estudiar alternativas de sistemas de extracción y separación de partículas.
- Elaborar planos general y de detalle.
- Seleccionar equipos de acuerdo a especificaciones y cálculos.
- Determinar los costos de construcción del sistema de recolección de partículas.

HIPÓTESIS

Se pretende diseñar un sistema de recolección de partículas de pintura, debido a que se genera una niebla por la acumulación de las mismas durante el proceso de pintura en la cabina, esto obliga a los trabajadores a suspender el trabajo. Por tanto al no existir este sistema se producen inconvenientes como: tiempos improductivos de alrededor de una hora diaria al esperar que se disipen, contaminación de productos y maquinaria presente en el área y daños en la salud de los operarios. Este sistema pretende mejorar el ambiente el trabajo, así como evitar pérdidas económicas debido a tiempos improductivos, ya que evitará la acumulación de dichas partículas al ser extraídas fuera de la cabina de pintura.

El sistema por medio de campanas (hoods) de captación, un ventilador, un separador ciclónico (ciclón), unidos por medio de ductos, limpiarán el aire de la cabina al extraerlo al momento del trabajo y llevarlo al separador, el cual actúa como filtro al separar las partículas sólidas de pintura mezcladas con el aire por medio de la fuerza centrífuga, obteniendo por una parte aire limpio expulsado a la atmósfera y partículas sólidas en forma de polvo recogidas en un recipiente.

SIMBOLOGÍA

A = Área

A_c = Área de captación de la campana

A_d = Área del ducto

A_L = Área libre del louver

A_{per} = Área del perfil

A_{pr} = Área del perno

A_s = Área de la sección transversal de la placa más delgada

A_1 = Área de la placa base

A_{1req} = Área mínima requerida para la placa base

A_2 = Área del patín del concreto

a = Altura de entrada del ciclón

a_s = Tamaño de la soldadura

B = Diámetro de cilindro de salida de sólidos

B_{pb} = Ancho de la placa base

b = Ancho de entrada del ciclón

b_f = Ancho del perfil

C_C = Pandeo elástico del inelástico

C_H = Carga horizontal

C_S = Coeficiente de fricción

C_V = Carga vertical

$c. d. a$ = Columna de agua

D = Diámetro interior del ducto

D_c = Diámetro del cuerpo del ciclón

D_e = Diámetro de cilindro de salida de aire

D_p = Diámetro de partícula

D_{pr} = Diámetro del perno

d = Largo del perfil

E = Módulo de elasticidad del acero

F_a = Esfuerzo de compresión axial

F_b = Esfuerzo de compresión a flexión

F_{bx} = Esfuerzo permisible por flexión

F_{by} = Cociente del momento flexionante máximo dividido entre el módulo de la sección

F_y = Esfuerzo de fluencia del material

F_Y = Esfuerzo de fluencia especificado para la placa base

F_t = Tracción de diseño nominal del perno

f = Factor de fricción de Darcy Weisbach

f_a = Esfuerzo axial

f_b = Esfuerzo de compresión producido por flexión

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto

G = Factor de configuración del ciclón

H = Altura total del ciclón

H_t = Altura total de la estructura

h = Altura del cuerpo cilíndrico del ciclón

h_f = Pérdidas por fricción en accesorios

h_L = Pérdida de presión por fricción

h_t = Pérdidas totales por fricción

K = Constante que depende de la forma de entrada al ciclón

Ka = Relación entre la altura de la entrada y el diámetro del ciclón

Kb = Relación entre ancho de la entrada y el diámetro del ciclón

Kc = Factor dimensional de las proporciones volumétricas del ciclón

Kl = Factor de dimensiones lineales

k = Constante para entrada tangencial del aire

k_1 = Factor que depende del tipo de apoyo de la columna

L = Longitud del local

L_d = Longitud del ducto

L_n = Longitud natural del ciclón

L_s = Longitud de la soldadura

lc = Longitud de la columna

M = Momento flexionante

MP = Material particulado

m = Distancia vertical entre el extremo de la placa y el perfil

m_i = Porcentaje másico

N = Número de renovaciones por hora

N_G = Número de giros

N_H = Número de cabezas de velocidad de entrada del ciclón

N_{pb} = Longitud de la placa base

N_R = Número de Reynolds

n = Exponente de vórtice del ciclón

n_f = Coeficiente de pérdidas por fricción

n_{pb} = Distancia horizontal entre el extremo de la placa y el perfil

P = Peso del ciclón

P_{atm} = Presión atmosférica

P_d = Presión dinámica

P_e = Presión estática

P_R = Resistencia de una conexión soldada a tope

P_t = Presión total

P_u = Carga axial última

P_v = Presión de velocidad de la corriente de aire

Q = Caudal de aire a extraer

Q_s = Caudal de aire de suministro

q = Carga que puede soportar cada pulgada de soldadura

R_a = Constante ideal del aire

r = Radio de giro

S = Longitud de tubería necesaria para la descarga

S_{pr} = Separación de los pernos

S_y = Factor de cada perfil

T_a = Temperatura de trabajo

T_i = Tiempo de relajación

T_{pr} = Tensión en los pernos

t_{min} = Espesor mínimo requerido de la placa base

V = Volumen que ocupa el local

V_r = Volumen del ciclón evaluado sobre su longitud natural

V_{sc} = Volumen del ciclón evaluado sobre la salida

v_c = Velocidad de captación

v_d = Velocidad del ducto

v_s = Velocidad de saltación

v_s = Velocidad de aire de suministro

v_v = Velocidad del viento

x_c = Sección restante de cilindro hacia la entrada del ciclón

W = Velocidad equivalente

X = Variable X

Z =Altura del cono

β = Constante de corrección relacionada con la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentra el fluido

γ = Altura con respecto al nivel del mar en la que se ubica la ciudad donde se instalará el sistema

ϵ = Rugosidad del ducto

η_a = Viscosidad dinámica del aire

η_i = Eficiencia fraccional por intervalos de tamaño

η_T = Eficiencia Total

λ = Esbeltez

λ' =Variable λ

$\lambda n'$ = Factor de espesor de la placa base

ρ_a = Densidad del aire

ρ_p = Densidad de partícula

σ = Esfuerzo permisible en las placas

ϕ_C = Factor de reducción de resistencia al aplastamiento

$\phi_C \cdot P_p$ =Carga total de la estructura

ϕ_F = Factor de reducción de la resistencia a la flexión

Δ = Factor de longitudes del perfil

ΔP = Perdida de presión del ciclón

ΔP_t = Pérdida de presión total

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Adherencia.- Unión de una cosa a otra mediante una sustancia que las aglutina.

Aspersión.- Rociado de un fluido en el espacio.

Aspiración.- Introducción de aire u otra sustancia gaseosa en un sitio cerrado.

Cambios de aire.- Es el número de veces que el aire de un ambiente se limpia en una hora.

Cangilón.- Recipiente de formas y tamaños diferentes de diversas máquinas especializadas en el transporte, carga o elevación de materiales líquidos o sólidos.

Captación.- Recolección de cierta cantidad de fluido.

Carga axial.- Fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal de un miembro estructural aplicada al centroide de la sección transversal del mismo produciendo un esfuerzo uniforme.

Catalizador.- Sustancia química, simple o compuesta, que modifica la velocidad de una reacción química, interviniendo en ella pero sin llegar a formar parte de los productos resultantes de la misma.

Colector mecánico.- Son equipos que permiten la separación de partículas de un sólido o de un líquido que se encuentran suspendidos en un fluido.

Colisionar.- Chocar dos o más cuerpos en movimiento.

Compasidad.- La idea de proximidad de los componentes particulados en el aire.

Compresión.- Tensiones o presiones existentes que existen dentro de un sólido deformable, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o acortamiento en determinada dirección.

Concentraciones de polvo.- El nivel de saturación de polvo en el fluido.

Decantación.- Separa un sólido o líquido más denso de otro fluido (líquido o gas) menos denso y que por lo tanto ocupa la parte superior de la mezcla.

Deflexión.- En análisis estructural, la deflexión hace referencia al grado en el que un elemento estructural se desplaza bajo la aplicación de una fuerza.

Densidad.- Es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.

Depuración.- La eliminación de material particulado del aire.

Desulfuración.- Es el proceso de eliminación del azufre de algo para evitar la contaminación.

Diámetro aerodinámico.- El diámetro de una esfera de densidad 1g/cm^3 que tiene la misma velocidad final debida a la fuerza gravitatoria, en el aire en calma, que la que tiene la partícula, bajo las condiciones existentes de temperatura, presión y humedad relativa.

Diámetro de corte: Diámetro equivalente de una partícula.

Disgregar.- Separar o desunir los elementos que forman un conjunto o las partes de una cosa.

Disolvente.- Componente de una disolución que se encuentra en mayor proporción, de modo que otro componente puede disolverse en él.

Efluente.- Los efluentes líquidos son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una locación determinada.

Electrostático.- Las cargas eléctricas no precisan de ningún medio material para influir entre ellas y por ello las fuerzas eléctricas son consideradas fuerzas de acción a distancia.

Epóxico.- Los materiales epóxicos son aquellos que reaccionan cuando los mezclan con un catalizador o endurecedor y son comúnmente conocidos como resinas.

Erosión.- Desgaste que se produce en la superficie de un cuerpo a causa del roce o frotamiento con otro cuerpo.

Esbeltez.- Característica mecánica de las barras estructurales o prismas mecánicos que relaciona la rigidez de la sección transversal de una pieza prismática con su longitud total.

Esfuerzo de fluencia.- Esfuerzo máximo que se puede desarrollar en un material sin causar una deformación plástica.

Factor de fricción de Darcy Weisbach.- Es un parámetro adimensional que se utiliza para calcular la pérdida de carga en las tuberías y accesorios.

Flexión.- Deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.

Filtrado.- Proceso que discrimina uno o varios elementos determinados de algo que atraviesa a través de un filtro.

Fricción.- Rozamiento de dos superficies cuando al menos una de ellas está en movimiento.

Hermeticidad.- Calidad de una locación de estar perfectamente cerrada o estanca al aire mediante fusión o sellado.

In situ.- Es una expresión muy utilizada en campo que significa en sitio.

Inmersión.- La inmersión entendida como la inclusión de un sólido en un líquido.

Momento flexionante.- Momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección transversal de un prisma mecánico flexionado o una placa que es perpendicular al eje longitudinal a lo largo del que se produce la flexión.

Número de Reynolds.- Número adimensional usado en mecánica que define el tipo de flujo (laminar o turbulento).

Poliamida.- Es el catalizador utilizado en el proceso de pintura como disolvente.

Pandeo.- Exceso de estrés o presión en una estructura. Esto ocurre a medida que el estrés incrementa y una estructura ya no puede mantener el equilibrio. El resultado final del pandeo es por lo general el colapso estructural.

Pulimento.- Operación que consiste en alisar o dar tersura y brillo a una superficie.

Pulverizado.- Esparcir un líquido sobre un lugar en forma de gotas muy pequeñas, atomizado.

Rugosidad.- Conjunto de irregularidades que posee una superficie.

Sedimentación por gravedad.- La separación por gravedad aprovecha la fuerza de gravedad para separar los sólidos presentes en un fluido.

Submicrónica.- Partículas con un diámetro equivalente menor a una micra.

Suspendibles.- Facultad de las partículas de flotar en el aire.

Sustancias pulverulentas.- Sustancia con un aspecto de polvo.

Transición.- Sección de tubería que permite el cambio de sección entre tubería cuadrada y redonda o a su vez aumento o disminución de diámetro de sección.

Trayectoria de doble hélice.- Es la trayectoria del aire dentro del ciclón para la depuración del mismo.

Turbulencia.- Estado de agitación en que se encuentra un líquido o un gas.

Velocidad de captación.- Velocidad con la cual se recolecta cierta cantidad de fluido.

Viscosidad.- Es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, es debida a las fuerzas de cohesión moleculares.

Vórtice.- Un vórtice es un flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corriente cerradas.

ÍNDICE GENERAL

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	i
JUSTIFICACIÓN	ii
ALCANCE	iii
OBJETIVOS	iv
Objetivo General	iv
Objetivos Específicos	iv
HIPÓTESIS	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.....	2
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Conceptos básicos	2
1.3. Proceso de pintura en cabinas	3
1.3.1. Tipos de procesos de pintura	4
1.3.2. Descripción del tipo de pintura usada en el proceso	4
1.3.3. Pintura epóxica y poliamida	4
1.3.3.1 Usos	5
1.3.3.2. Modo de uso	5
1.3.3.3. Recomendaciones	5
1.4. Sistema de extracción.....	6
1.4.1. ¿Qué es un sistema de extracción de partículas?.....	6
1.4.2. Descripción del sistema	6
1.4.3. Partes de un sistema de extracción	6
1.4.3.1. Campanas (hoods) de captación.....	6
1.4.3.2. Sistema de ductos de transporte de la corriente de aire con contaminantes.	9
1.4.3.3. Equipo de filtrado (separador).....	10
1.4.3.4. Extractor	20
CAPÍTULO 2.....	25
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	25
2.1. Alternativa 1 - Torre de pulverización.....	25
2.1.1. Teoría de funcionamiento.....	27
2.1.2. Eficiencia	29
2.1.3. Criterios de mantenimiento y detección de fallas	29
2.1.4. Ventajas y desventajas de su uso	29

2.1.4.1.	Ventajas	29
2.1.4.2.	Desventajas.....	30
2.1.5.	Aplicaciones.....	30
2.2.	Alternativa 2 - Ciclón.....	31
2.2.1.	Teoría de funcionamiento	31
2.2.2.	Eficiencia	33
2.2.3.	Criterios de mantenimiento y detección de fallas	35
2.2.4.	Parámetros de diseño	35
2.2.5.	Ventajas y desventajas de su uso.....	36
2.2.5.1.	Ventajas	36
2.2.5.2.	Desventajas.....	36
2.2.6.	Aplicaciones.....	36
2.3.	Alternativa 3 - Cámara de sedimentación.....	37
2.3.1.	Teoría de funcionamiento	38
2.3.2.	Parámetros de diseño	39
2.3.3.	Ventajas y desventajas del uso	40
2.3.3.1.	Ventajas	40
2.3.3.2.	Desventajas.....	40
2.3.4.	Aplicaciones.....	40
2.4.	Selección de la mejor alternativa	41
CAPÍTULO 3.....		43
DISEÑO DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE PARTÍCULAS.....		43
3.1.	Cálculo de campanas de extracción	43
3.1.1.	Caudal de extracción.....	43
3.1.2.	Área de captación.....	46
3.2.	Cálculo de ductos	48
3.2.1.	Diámetro de los ductos	49
3.2.2.	Pérdidas de energía por rozamiento.....	51
3.2.3.	Pérdidas de energía por accesorios	58
3.3.	Cálculo del ciclón.....	64
3.3.1.	Dimensionamiento del ciclón	65
3.3.2.	Caída de presión.....	67
3.3.3.	Velocidad de saltación	68
3.3.4.	Número de giros.....	70
3.3.5.	Eficiencia fraccional por intervalos de tamaño	70

3.3.6.	Eficiencia total	76
3.4.	Selección del ventilador	76
3.4.1.	Parámetros de selección.....	77
3.4.2.	Ventilador	77
3.4.3.	Louvers.....	79
3.5.	Cálculo estructural.....	81
3.5.1.	Diseño de soportes del ciclón	81
3.5.2.	Cálculo de la placa base.....	87
3.5.2.1.	Cálculo pernos de anclaje.....	92
3.5.3.	Selección de soportes para ductos	94
3.5.4.	Diseño de soldadura.....	96
CAPITULO 4.....		98
CÁLCULO DE COSTOS.....		98
4.1.	Análisis de costos de fabricación	98
4.2.	Costos directos	98
4.3.	Costos indirectos	99
4.4.	Costo total del proyecto.....	100
4.5.	Análisis de costos	100
CONCLUSIONES.....		108
RECOMENDACIONES.....		109
REFERENCIAS.....		110
ANEXOS		110
ANEXO 1.....		114
Ventilador centrífugo		114
ANEXO 2.....		116
Junta de expansión		116
ANEXO 3.....		117
Filtro de aire		117
ANEXO 4.....		118
Materiales.....		118
ANEXO 5.....		123
Planos del sistema		123

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1. Campanas de captación (hoods)	6
Fig.2. Campanas de encerramiento	7
Fig.3. Campanas receptoras	8
Fig.4. Campanas exteriores	9
Fig.5. Ductos	9
Fig.6. Cámaras de sedimentación.....	12
Fig.7. Torres de pulverización	14
Fig.8. Separador húmedo de choque	15
Fig.9. Separador de choque.....	16
Fig.10. Separador de tobera sumergida.....	17
Fig.11. Cámaras de choque	18
Fig.12. Ciclón.....	19
Fig.13. Multiciclón.....	20
Fig.14. Curva característica de un ventilador.....	22
Fig.15. Extractor axial.....	23
Fig.16. Extractor centrífugo	23
Fig.17. Extractor mixto	24
Fig.18. Mecanismo de recolección de partículas en una torre de pulverización.....	26
Fig.19. Sistema de pulverizadores	27
Fig.20. Torre de pulverización	28
Fig.21. Rendimiento de acuerdo al tamaño de partícula.....	29
Fig.22. Mecanismo de colección de partículas en un ciclón.....	31
Fig.23. Partes del ciclón.....	32
Fig.24. Vórtices en el ciclón	33
Fig.25. Cámara de sedimentación	38
Fig.26. Cámara de expansión y cámara de tapas deflectoras	39
Fig.27. Dimensiones de la cabina de pintura.	45
Fig.28. Ángulo de las campanas de extracción industrial.....	47
Fig.29. Dimensiones de las campanas de extracción	48
Fig.30. Dimensiones de los ductos.....	51
Fig.31. Dimensiones del ciclón.....	66
Fig.32. Entrada del ciclón	66

Fig.33. Ventilador centrífugo IPA	78
Fig.34. Junta de expansión.....	79
Fig.35. Louvers	79
Fig.36. Cargas horizontales y verticales	81
Fig.37. Área de incidencia	83
Fig.38. Dimensionamiento placa base	88
Fig.39. Dimensiones placa base.....	92
Fig.40. Dimensiones estándar de pernos y tuercas de alta resistencia	94
Fig.41. Soportes para ductos redondos	95
Fig.42. Junta a tope	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla.1. Rango del tamaño de las partículas.....	3
Tabla.2. Ductos de baja presión y/o velocidad	10
Tabla.3. Ductos de alta presión y/o velocidad	10
Tabla.4. Tipos de Separadores	11
Tabla.5. Velocidades del aire	13
Tabla.6. Parámetros de dimensionamiento	19
Tabla.7. Cuadro comparativo de selección de la alternativa.....	42
Tabla.8. Renovaciones de los locales en general	44
Tabla.9. Velocidades de captación.....	46
Tabla.10. Valores mínimos de las velocidades de transporte de aire en ductos.	49
Tabla.11. Propiedades del aire versus temperatura en unidades de S.I.....	53
Tabla.12. Valores de diseño de la rugosidad de tubos	55
Tabla.13. Coeficiente de pérdidas por fricción para entradas	60
Tabla.14. Coeficiente de pérdidas por fricción para expansiones entre conductos ...	62
Tabla.15. Diámetros equivalentes de conductos rectangulares.....	63
Tabla.16. Coeficiente de pérdidas por fricción para codos de 90°.....	64
Tabla.17. Densidad de partículas de pintura	69
Tabla.18. Eficiencias globales representativas de los ciclones	75
Tabla.19. Características de ciclones convencionales.....	75
Tabla.20. Promedio ponderado de eficiencias fraccionarias.....	76
Tabla.21. Dimensiones estándar de pernos y tuercas.....	80
Tabla.22. Dimensiones estándar de pernos y tuercas.....	94
Tabla.23. Tamaños de soportes para ductos redondos	96
Tabla.24. Lista de costos	100
Tabla.25. Costos de diseño.....	100
Tabla.26. Costos de fabricación de ductos.....	101
Tabla.27. Costos de fabricación de bridas	101
Tabla.28. Costos de fabricación de elementos del sistema	102
Tabla.29. Costos de fabricación del ciclón	102
Tabla.30. Costos de equipo y accesorios	103
Tabla.31. Costos de montaje	103
Tabla.32. Costo total del sistema	103

Tabla.33. Cantidad de planchas	104
Tabla.34. Cantidad de tubos.....	105
Tabla.35. Cantidad de platinas	105
Tabla.36. Cantidad de varillas lisas.....	106
Tabla.37. Cantidad de tubo cuadrado.....	106
Tabla.38. Lista de materiales	107

ÍNDICE DE ECUACIONES

[Ec.1] Volumen que ocupa el local	45
[Ec.2] Caudal de aire a extraer	45
[Ec.3] Área de captación de la campana	47
[Ec.4] Diámetro interior del ducto	49
[Ec.5] Número de Reynolds	51
[Ec.6] Densidad del aire	52
[Ec.7] Factor de fricción	54
[Ec.8] Pérdida de presión por fricción	56
[Ec.9] Pérdida de fricción por accesorios	58
[Ec.10] Presión de velocidad de la corriente de aire	58
[Ec.11] Diámetro del cuerpo del ciclón	65
[Ec.12] Pérdida de presión en el ciclón	67
[Ec.13] Número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón	67
[Ec.14] Velocidad de saltación	68
[Ec.15] Relación de la entrada y diámetro del ciclo	68
[Ec.16] Velocidad equivalente	69
[Ec.17] Número de giros	70
[Ec.18] Eficiencia fraccional por intervalo de tamaño	70
[Ec.19] Factor de configuración	71
[Ec.20] Factor dimensional de las proporciones volumétricas del ciclón	71
[Ec.21] Relación entre la altura de la entrada y el diámetro del ciclón	73
[Ec.22] Relación entre el ancho de la entrada y el diámetro del ciclón	73
[Ec.23] Tiempo de relajación	73
[Ec.24] Exponente del vórtice	74
[Ec.25] Eficiencia total	76
[Ec.26] Caudal de aire de suministro	80
[Ec.27] Carga vertical	81
[Ec.28] Carga horizontal	82
[Ec.29] Carga por viento	82
[Ec.30] Carga por sismo	83
[Ec.31] Ecuación LFRD	84
[Ec.32] Esfuerzo real a compresión	84

[Ec.33] Coeficiente del momento flexionante máximo	84
[Ec.34] Pandeo elástico del inelástico.....	84
[Ec.35] Esbeltez	84
[Ec.36] Carga axial última	87
[Ec.37] Área mínima requerida para la placa base	88
[Ec.38] Largo de la placa base	88
[Ec.39] Ancho de la placa base	89
[Ec.40] Factor de longitudes del perfil.....	89
[Ec.41] Diferencia vertical de longitud entre la placa base y el perfil	89
[Ec.42] Diferencia horizontal de longitud entre la placa base y el perfil.....	89
[Ec.43] Factor de reducción de resistencia al aplastamiento	90
[Ec.44] Variable X	90
[Ec.45] Variable λ	90
[Ec.46] Factor de espesor de la placa base.....	90
[Ec.47] Espesor mínimo de la placa base.....	91
[Ec.48] Tensión del perno	92
[Ec.49] Área del perno	93
[Ec.50] Carga que soporta el perfil	96
[Ec.51] Carga que cada pulgada de soldadura soporta	97
[Ec.52] Tamaño de la soldadura.....	97

RESUMEN

El avance en la industria moderna, con la complejidad en sus procesos y operaciones, utiliza una gran variedad de compuestos químicos y sustancias que en mayoría son tóxicos para la salud de sus operarios; parte de la ingeniería se centra en la limpieza de estos residuos por medio de sistemas de ventilación y recolección. El uso de estos materiales genera contaminantes tales como: gases, vapores, humos y polvos en concentraciones que exceden los niveles de seguridad impuestos por organismos nacionales e internacionales.

Para poder evitar el deterioro de la salud de los trabajadores al inhalar material tóxico, existen diferentes tipos de sistemas de extracción; se estudiará los separadores ciclónicos, que por medio de la fuerza centrífuga separa material particulado del aire, y permite evacuar aire limpio al ambiente y recolectar estos residuos para un mejor procedimiento de desecho. Se los puede detectar en la industria de madera, molinos, fábricas de cemento, entre otras, ya que su funcionamiento es uno de los menos costosos para la eliminación/recolección de partículas. Su invención, diseño y construcción son producto de análisis, cálculos y una inversión importante de tiempo para alcanzar los resultados esperados.

ABSTRACT

The modern advance in industry, with the complex processes and operations use a lot of chemical compounds and substances that in large quantities are toxic for the operator's health; an engineering part is focused on the cleaning of these remains using a ventilation and collection system. The use of these materials generates pollutants like: gases, steams, smog and dust that overcome the safe levels imposed by national and international agencies.

To avoid the worker's health deterioration because of toxic inhalation, there are different kinds of extraction systems; they will study the cyclonic separators that with the help of centrifugal force, separate the particulate material from the air, and allow clean air to evacuate for the environment and collect the remains for a better waste process. These can be detected in different industries like: woods, mills, cement factories, and another industrial installations, because its function is one of the less expensive for the elimination/collection of particles. The invention, design and production are the product of analysis, calculations, and an important dedication of time to achieve the desired results.

INTRODUCCIÓN

Las estructuras metálicas están expuestas a factores externos que provocan corrosión, como viento, lluvia, salinidad, entre otros, por lo que sufre daños significativos que afectan la resistencia, durabilidad y estética de estos elementos, por lo que el proceso de acabado superficial y final es importante, para extender su vida útil.

Para realizar este proceso de acabado superficial la empresa Proyectos Mecánicos PROMEC S.S.C, está dotada de una cabina de pintura, la cual mantiene unas condiciones de trabajo óptimas, lo que quiere decir una zona limpia para pintar y libre de polvos. Otra función importante de la cabina de pintura es el secado de las estructuras, ya que se tiene un ambiente adecuado se obtiene un secado parejo y controlado de toda la superficie pintada, todas estas características ayudan que el producto final tenga un buen acabado.

Debido a que el proceso de pintura es por pulverización, se genera una niebla, la cual al caer sobre la superficie pintada puede generar daños en el acabado, impide la visibilidad y genera un ambiente tóxico para la salud de los operarios. Por lo tanto, es importante contar con un sistema de ventilación, que en algunos casos podrá ser tanto de impulsión como de extracción.

Por estos motivos la presente tesis comprende el diseño integral de un sistema de extracción, el cual incluye un ciclón; con este sistema se pretende aspirar y recolectar el exceso de pintura pulverizada que está mezclada con el aire dentro de la cabina antes de expulsarlo a la atmósfera evitando contaminar el ambiente, tomando en cuenta los requerimientos de caudal a extraer y caídas de presión, los cuales nos ayudan a dimensionar los componentes necesarios del sistema.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. Introducción

Es aspiración de todos, la necesidad de un aire limpio y sin contaminación en el ambiente de trabajo industrial.

Las nuevas tecnologías implementadas junto con la complejidad de procesos y operaciones han dado lugar a nuevos materiales, sustancias y preparados, que al ser utilizados dan lugar a un ambiente de trabajo en el que están presentes partículas que en muchos casos pueden afectar a la salud del trabajador.

El presente trabajo pretende proporcionar información de los medios empleados a nivel industrial para lograr un control de partículas en suspensión generadas en el proceso de pintura, obteniéndose un aire limpio y un ambiente de trabajo adecuado y saludable.

1.2. Conceptos básicos

Contaminantes: Se define como contaminante en el aire, a los polvos, humos, nieblas, vapores o gases que se desprenden de los procesos industriales y de operaciones simples. Los diferentes tamaños de dichos contaminantes se pueden ver en la Tabla 1.

- **Polvos:** Pequeñas partículas sólidas, creadas por el rompimiento de partículas más grandes (moler, pulir, perforar, etc).
- **Fumes:** Pequeñas partículas sólidas, formadas por la condensación de vapores de materiales sólidos, éstas tienen una gran habilidad para aglomerarse y formar partículas del tamaño de las contempladas en los polvos.
- **Humos:** Partículas suspendidas en el aire generadas en procesos de combustión o de sublimación, generalmente son productos derivados del carbón que vienen de combustiones incompletas, se aglomeran fácilmente formando “soot” hollín.
- **Vapor:** Sustancia en estado gaseoso, cuya condición es normalmente en forma líquida, esta puede ser llevada a vapor al realizar cambios en

presión o temperatura (vapor de agua, limpieza con solventes, adelgazamiento de pinturas y pegamentos).

- **Niebla:** Pequeñas gotas de material que son líquidas a temperatura y presión normal, estas se generan normalmente en los procesos de pulverizado, cromado, cobrizado y de condensación durante un proceso de enfriamiento, algunas veces se combina con vapores. (Tecnología Ambiental y Consultoría S.A, 2013, pág.6).

Tabla 1. Rango del tamaño de las partículas

Contaminantes	Tamaño de partícula	
	Desde	A
Polvos	0.25 μm	30 μm
Humos	0.1 μm	0.5 μm
Fumes	0.01 μm	0.1 μm
Nieblas	10 μm	20 μm
Vapores	Variable	

Fuente: Tecnología Ambiental y Consultoría S.A. de C.V. (2013)

1.3. Proceso de pintura en cabinas

Los productos utilizados en las operaciones de pintura son generalmente inflamables o combustibles, frecuentemente tóxicos y altamente reactivos o inestables. En las zonas de aplicación de pinturas es conocido que se pueden desarrollar fuego de forma muy rápida, desprendiendo grandes cantidades de calor y humos tóxicos, poniendo en riesgo permanente a trabajadores, maquinaria y bienes materiales.

Las acumulaciones de vapores inflamables o la existencia de material pulverulento implica siempre un riesgo adicional: las explosiones.

Por todo lo anterior, las operaciones de pintura se consideran peligrosas, y a fin de reducir los riesgos deben tomarse las correspondientes medidas preventivas y protectoras. Esto es especialmente necesario en los pequeños procesos, ya que la experiencia demuestra que los daños materiales producidos por ellos son, con frecuencia, tan importantes como los producidos por operaciones de gran volumen.

1.3.1. Tipos de procesos de pintura

Es posible distinguir entre procesos que emplean sustancias pulverulentas (sólidas o líquidas) y procesos que emplean sustancias líquidas (por inmersión o por recubrimiento).

- En procesos de pulverización de recubrimientos líquidos, las partículas se pueden aplicar por los siguientes métodos: pistolas de pulverización de aire comprimido, pistolas sin aire, pistolas electrostáticas o discos electrostáticos.
- La aplicación de recubrimientos orgánicos en forma de polvo seco ha adquirido una amplia aceptación. El polvo se puede proyectar bien a través de pistolas o cámaras de niebla.

Habitualmente, cualquiera de estos métodos se aplica electrostáticamente, aunque también se pueden aplicar calentando previamente la pieza de trabajo por encima del punto de fusión del polvo.

- Los procesos de inmersión y recubrimiento se caracterizan porque las piezas de trabajo se sumergen o se recubren con líquidos inflamables o combustibles, sin necesidad de calentamiento previo o carga electrostática.

El fluido es suministrado por bombas que aspiran de un depósito de almacenamiento y se distribuye a través de tuberías.

1.3.2. Descripción del tipo de pintura usada en el proceso

En la Empresa Proyectos Mecánicos PROMEC S.C.C se construyen estructuras metálicas y tanques, las cuales van a estar expuestas todo el tiempo al medio ambiente, por lo cual se emplea pintura de tipo epóxica y poliamida, que evitará que se deteriore el material con el paso del tiempo ya que dicha pintura le brinda excelente protección debido a las propiedades de adherencia, alta resistencia al ataque químico y atmosférico y al evitar el contacto directo con el ambiente.

1.3.3. Pintura epóxica y poliamida

Estos productos son dos componentes en envases separados: una pintura epóxica y un catalizador poliamídico que al mezclarse en proporciones apropiadas con la pintura produce una película de muy buena adherencia y flexibilidad, resistente al agua, ácidos débiles, sales, álcalis, derivados del petróleo, disolventes

aromáticos y temperaturas de 120°C en seco y 70°C en inmersión. (Pinturas Glen, 2013)

1.3.3.1 Usos

- Para proteger y decorar superficies metálicas de tanques, tuberías, estructuras, plantas químicas de tratamiento de aguas, bebidas o alimentos, para maquinarias, equipos y puentes.
- Para maderas, concreto y asbesto-cemento en ambientes interiores o exteriores de alta contaminación industrial.
- Método de aplicación: Pistola o brocha.

1.3.3.2. Modo de uso

- Preparación de superficie.
- La superficie debe estar libre de humedad, polvo, mugre, grasa, cera, pintura deteriorada y óxido.
- Los metales deben estar protegidos con una pintura anticorrosiva apropiada para las condiciones ambientales que debe soportar.
- Para repintes sobre pinturas epóxicas en buenas condiciones, se lijan éstas en seco para eliminarles el brillo y se limpian bien. Las pinturas no epóxicas se remueven o ablandan al aplicarles una pintura epóxica. Las pinturas deterioradas y las pinturas no epóxicas en general se eliminan con removedor y se trata la superficie según su tipo.

1.3.3.3. Recomendaciones

- Se debe evitar la contaminación de los componentes separados con la mezcla de ellos.
- Preparar únicamente la cantidad que se va a utilizar ya que después de ocho horas a 25°C el producto pierde sus propiedades.
- A temperaturas menores de 16°C el secamiento se retarda, y a menos de 10°C, no seca.
- A mayor espesor mayor tiempo de secamiento y viceversa.
- Para utilizar la Pintura Epoxi-Poliamida en inmersión o en condiciones muy agresivas, se recomienda un secamiento de siete días.

1.4. Sistema de extracción

1.4.1. ¿Qué es un sistema de extracción de partículas?

Sistema que extrae aire con partículas de polvo o de materiales varios de un proceso, direccionando el flujo de aire extraído hacia un dispositivo de filtrado, el cual separa el polvo o partículas de materiales de la corriente de aire que es enviada luego hacia la atmósfera.

1.4.2. Descripción del sistema

La niebla producida por el proceso de pintura dentro de la cabina es extraída por las campanas de captación (hoods), para conducirla a través de un flujo de aire generado por el extractor, dicha niebla pasa por los ductos hasta un ciclón (separador), el aire cargado de partículas entra de manera tangencial por la parte superior cilíndrica, el aire sigue una trayectoria en espiral primero hacia el fondo del separador, ascendiendo después por el centro del mismo. El aire, una vez depurado, abandona el ciclón por la parte superior, obteniendo aire limpio descargado a la atmósfera, así como partículas de polvo las cuales serán recogidas por la parte inferior.

1.4.3. Partes de un sistema de extracción

1.4.3.1. Campanas (hoods) de captación.

Como se puede observar en la Fig.1, son estructuras diseñadas para encerrar, total o parcialmente, una operación productora de contaminante y conducirlo a través de un flujo de aire hasta un lugar que no ocasione riesgos. Es evidente la importancia que tienen el diseño y la localización de la campana para que el proceso de extracción sea eficiente.

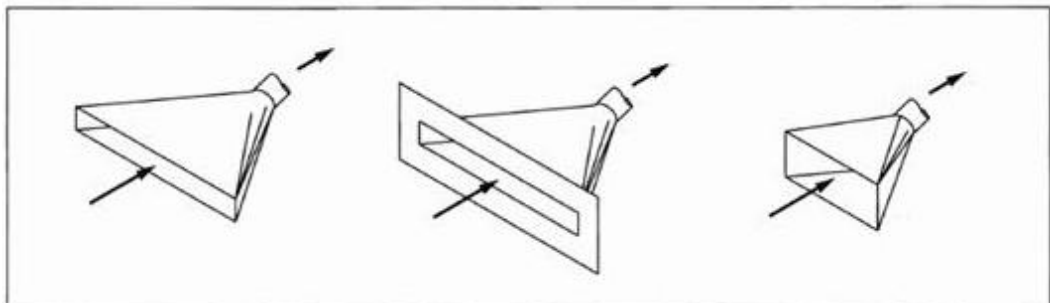


Fig.1. Campanas de captación (hoods).
Fuente: Ventilación Industrial (2010).

1.4.3.1.1 Clases de Campanas

Se clasifican en tres amplios grupos:

- **Encerramientos:** Normalmente rodean el punto de emisión del contaminante. Son eficientes y económicos. Se usan siempre que es posible, especialmente cuando el contaminante es una sustancia peligrosa. Han de ser diseñadas cuidadosamente, de tal manera que no haya acumulación de los contaminantes (Ventilación Industrial, 2010). Ver Fig.2.

Las aplicaciones más frecuentes son:

Elevadores de cangilones, cribas vibradoras, tolvas de almacenamiento, mezcladores, cintas transportadoras, cabinas de chorreo, etc.

Una variante de dichos encerramientos son las cabinas-campana, tipificadas por lo general para laboratorios o en operaciones de pintura con pistola, en las cuales una cara del encerramiento está abierta para facilitar el acceso.

Las aplicaciones más comunes son: Laboratorios, pulverización de pintura y metales, soldadura de arco, máquinas ensacadoras, etc.

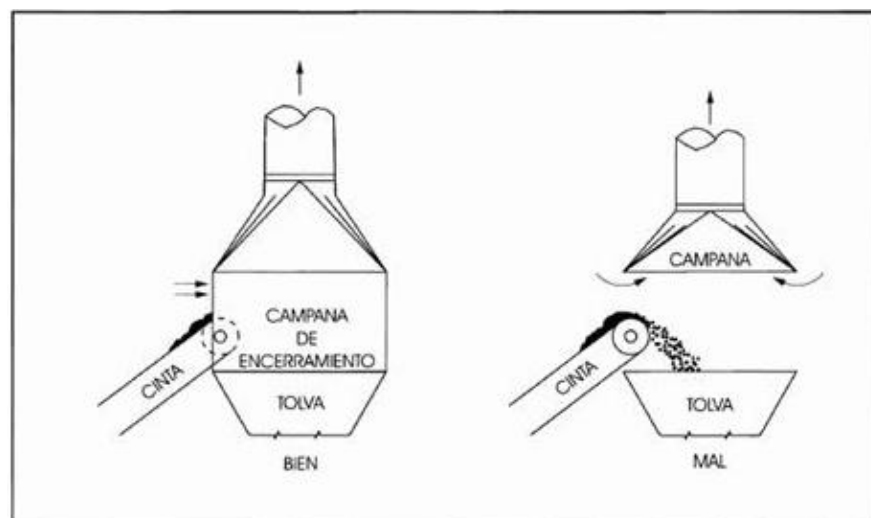


Fig.2. Campanas de encerramiento.
Fuente: Ventilación Industrial (2010).

- **Campanas receptoras:** Se refieren a aquellas en las cuales una corriente de aire contaminado es extraído desde un proceso mediante una campana localizada. Los tipos más comunes son: campana de bóveda y campana de corriente lateral (Ventilación Industrial, 2010), como se puede ver en la Fig.3.

La campana de bóveda es probablemente el tipo más antiguo conocido. Es una bóveda colocada por encima del lugar de trabajo, de forma que el contaminante es eliminado a través de la extracción.

Este tipo de campana no se utiliza cuando el material es tóxico o el operario debe inclinarse sobre el tanque, recurriéndose entonces a las de corriente lateral.

Las campanas de corriente lateral son similares a las cabinas antes mencionadas. Se trabaja, por lo general, enfrente de la campana, de forma que el aire que penetra en la misma, circula por encima de donde se está trabajando.

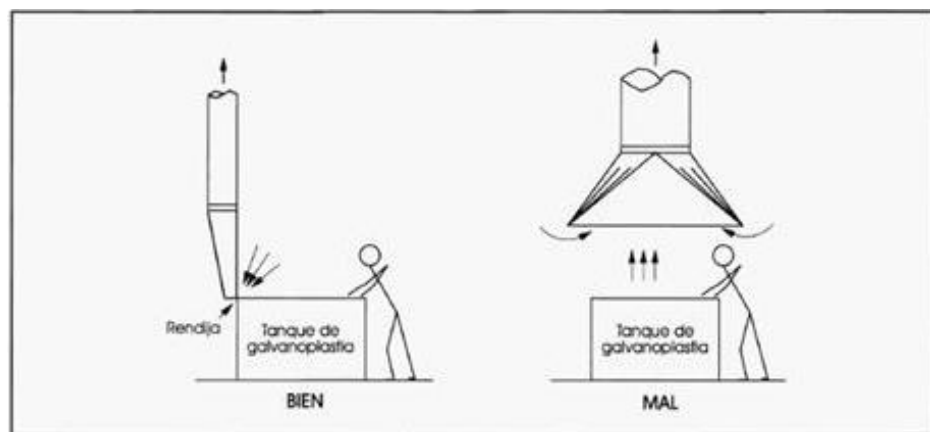


Fig.3. Campanas receptoras.
Fuente: Ventilación Industrial (2010).

- **Campanas exteriores:** Captan los contaminantes que se generan en un punto exterior de ellas. Se diferencian de los encerramientos y de las campanas receptoras en que centran sus efectos más lejos que sus propias dimensiones para capturar los contaminantes (Ventilación Industrial, 2010), como se observa en el esquema de la Fig.4.

Las campanas exteriores deben crear corrientes de aire direccionales hacia la apertura de succión para conseguir la acción extractora.

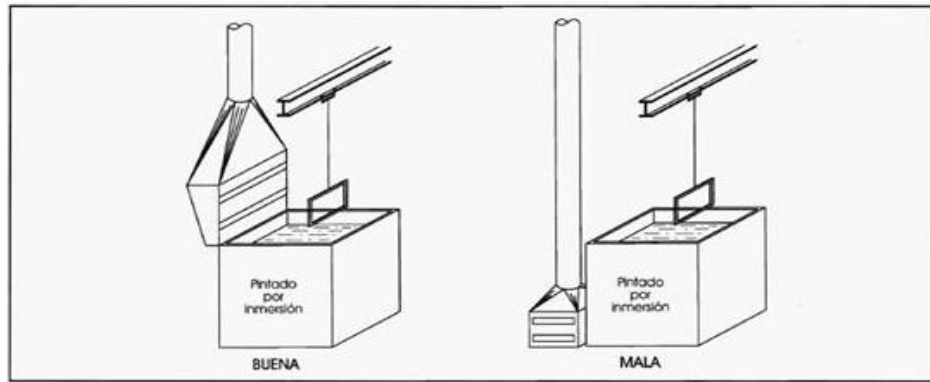


Fig.4. Campanas exteriores.
Fuente: Ventilación Industrial (2010).

1.4.3.2. Sistema de ductos de transporte de la corriente de aire con contaminantes.

El aire cuando se transporta en un ducto, tiene que soportar dos cargas en su estructura, una la impuesta por la presión y otra por la velocidad. La primera es conocida como “Presión estática” y es la que a través de las paredes del ducto, normalmente tiene mayor efecto. La impuesta por la velocidad produce turbulencias ejerciendo una carga pulsante y variable en las paredes del ducto y es conocida como “Presión de velocidad” (Proveedores Industriales, 2013). Es por ello que es de gran importancia tomar en cuenta dichos parámetros al momento de realizar el diseño, los cuales actúan directamente en la estructura. Ver Fig.5.



Fig.5. Ductos
Fuente: Proveedores Industriales (2013).

Cuando se diseña un ducto, debe tomarse en cuenta los siguientes parámetros:

- Deformación y deflexión (Estabilidad Funcional)
- Hermeticidad
- Vibración
- Generación y/o transportación de ruido

- Exposición al maltrato tanto físico como climatológico
- Soporte
- Pérdidas por fricción
- Velocidad del aire
- Infiltraciones
- Distancia y recorrido desde el equipo de manejo hasta su descarga
- Espacio disponible para su instalación
- Proceso ó tipo de fluido a conducir
- Aspecto económico (costo inicial y de operación)

Estos parámetros son primordiales para decidir el tipo de ducto que se deba diseñar y construir. Es importante ver ahora la clasificación de los ductos en términos de su velocidad y presión, de acuerdo a normas internacionales.

1.4.3.2.1. Clasificación de ductos

En general se pueden clasificar los sistemas de conducción de aire, atendiendo a su presión y velocidad, como se muestra en las siguientes Tablas 2 y 3, respectivamente.

Tabla 2. Ductos de baja presión y/o velocidad.

Clase de ducto	Presión estática (mm c.d.a)	Presión	Velocidad(m/s)
Baja presión	50.8	Positiva o negativa	≤ 12.70
Baja presión	25.4	Positiva o negativa	≤ 12.70
Baja presión	12.7	Positiva o negativa	≤ 10.16

Fuente: Proveedores Industriales (2013).

Tabla 3. Ductos de alta presión y/o velocidad.

Clase de ducto	Presión estática (mm c.d.a)	Presión	Velocidad(m/s)
Alta presión	254	Positiva	≥ 10.16
Media presión	152	Positiva	≥ 10.16
Media presión	101	Positiva	≥ 10.16
Media presión	76	Positiva o negativa	≤ 20.32

Fuente: Proveedores Industriales (2013).

1.4.3.3. Equipo de filtrado (separador)

Cuando las partículas contaminantes tienen un diámetro superior a 1 μm pueden emplearse medios mecánicos para su separación. La Tabla 4 contiene

parámetros que pueden ser de gran utilidad al escoger un separador de partículas.

Los separadores de polvo pueden clasificarse de la siguiente manera:

- **Separadores por gravedad:** Se utilizan cuando las partículas son de gran tamaño. Los más típicos son las cámaras de sedimentación.
- **Separadores por fuerza de inercia:** En este tipo de colector se utiliza el principio que la masa efectiva de las partículas, puede incrementarse mediante la aplicación de la fuerza centrífuga. El tipo más característico es el ciclón.
- **Separadores húmedos:** Llamados en Inglés "scrubbers" en los que se utiliza el agua para evitar que las partículas vuelvan a la corriente de aire.

Tabla 4. Tipos de Separadores

		Tipo	Tamaño mínimo partículas μm	Concentración óptima g/m^3	Velocidad normal		Pérdida de carga c.d.a.	Rendimiento aproximado %
					m/s	A través de		
SEPARADORES DE POLVO	POR GRAVEDAD	CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN	200	>180	1'5 ÷ 3	LA CÁMARA	<2'5	<50
	POR FUERZAS DE INERCIA	CÁMARA DE CHOQUE	50 ÷ 150	>180	5 ÷ 10	ENTRADA	<13	<50
		CICLÓN	>10	>35	10 ÷ 20	ENTRADA	<50	<80
		MULTICICLÓN (Ciclones de poco diámetro)	>5	>35	10 ÷ 20	ENTRADA	<100	<90
	SEPARADORES HÚMEDOS (SRUBBERS)	DE CHOQUE	>5	>35	15 ÷ 30	TOBERAS	>50	<80
		DE CHORRO	<5	>3'5	10 ÷ 15	ENTRADA	<200	<90
		DE TOBERA SUMERGIDA	>2	>3'5	10 ÷ 20	TOBERAS	>50	<90

Fuente: Soler & Palau, Soluciones Innovadoras (2006).

1.4.3.3.1. Separadores por gravedad

- **Cámaras de sedimentación**

Estos equipos son los más utilizados por su sencillez. Su empleo se limita a la extracción de polvo relativamente grueso, del orden de las 200 μm y

como paso previo de una depuración más fina. Una suspensión de sólidos en un líquido se mantiene en un tanque hasta que los sólidos sedimentan en el fondo formando un residuo o pasta espesa (King, C. Judson, 2003, pág.8).

El esquema de su funcionamiento puede verse en la Fig. 6. El aire cargado de polvo entra en la cámara de sedimentación disminuyendo así su velocidad, con lo que una parte de las partículas abandonan la corriente de aire debido a la fuerza gravitatoria. El rendimiento de este tipo de separadores es relativamente bajo, menor del 50%. En la Tabla 4 pueden verse un conjunto de parámetros referentes a este tipo de separador.

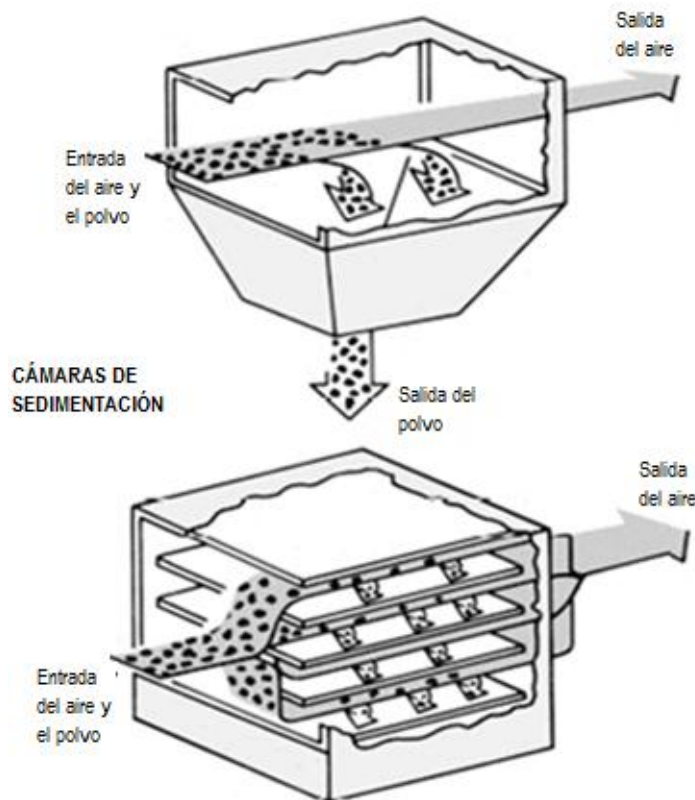


Fig.6. Cámaras de sedimentación
Fuente: Soler & Palau, Soluciones Innovadoras (2006).

1.4.3.3.2. Separadores húmedos

En una columna de pulverización gas-líquido este es pulverizado en forma descendente como gotas que caen a través de una fase gaseosa continua (King, C. Judson, 2003, pág.351).

Cuando las partículas a separar son inferiores a $5\ \mu\text{m}$ se emplean separadores húmedos en los que el líquido utilizado suele ser agua. El rendimiento así como

la capacidad de purificación depende de manera muy importante de la energía empleada para vehicular el gas. Así, en el caso de separadores de tobera sumergida, el tamaño de las partículas separadas es en función de la velocidad del aire, tal como puede verse en la Tabla 5.

Tabla 5. Velocidades del aire

Velocidad del aire(m/s)	Tamaño de las gotas de agua(μm)	Tamaño de las partículas de polvo que podrán separarse(μm)
1,5	366	>5
30	205	>2
60	125	>1
120	72	<1

Fuente: Soler & Palau, Soluciones Innovadoras (2006).

La selección del tipo de separador húmedo dependerá:

- Del tamaño de las partículas a separar.
- De la pérdida de carga permitida del rendimiento deseado.

Otra ventaja a considerar en este tipo de separadores es la disminución en gran medida del riesgo de explosión o ignición, que siempre está presente en otros tipos de procesos de separación de polvos.

Una característica del aire que sale de estos separadores es el alto grado de humedad que llevan, cercano a la saturación, con que puede aprovecharse como fuente de refrigeración. Todas estas características pueden presentar aspectos positivos pero también negativos, por lo que hay que considerarlos detenidamente a la hora de tomar una decisión.

- **Torres de pulverización**

Son los separadores húmedos más sencillos y consisten en una cámara dentro de la cual se ha instalado unos pulverizados de agua que impregnan el aire de humedad. En la Fig.7 se puede observar que la entrada de aire al separador se efectúa por un lateral en la parte baja y sale por la parte superior.

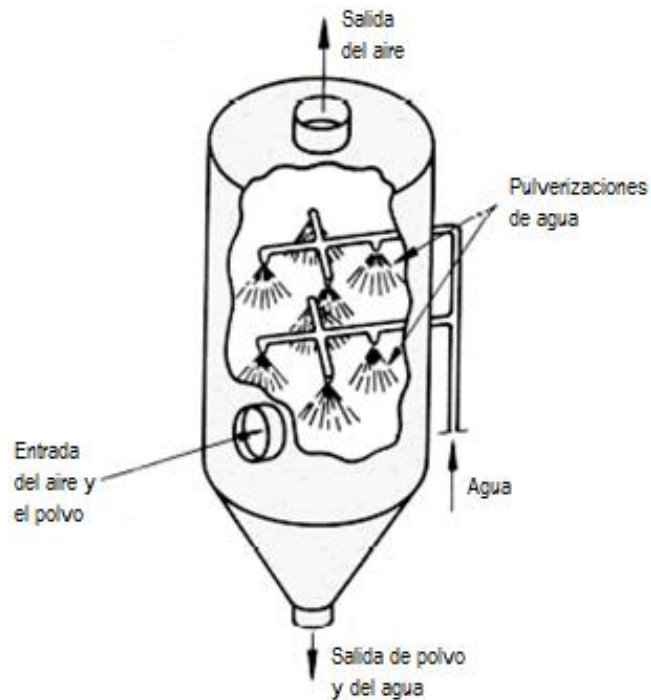


Fig.7. Torres de pulverización
Fuente: Soler & Palau, Soluciones Innovadoras (2006).

La pérdida de carga de este tipo de depurador está comprendida entre 12 y 40 mm c.d.a., siendo el tamaño mínimo de las partículas a separar de 10 μm . La presión del agua para ser debidamente pulverizada puede variar entre una y 25 atmósferas y la velocidad del aire al cruzar la cámara húmeda debe estar comprendida entre 0,6 y 1,2 m/s. El consumo de agua es del orden de 10 l/min por 1000 m³/h de aire tratado.

- **Separadores húmedos de choque**

Consisten en una cámara dentro de la cual se encuentran un conjunto de pantallas perforadas de tal manera que los orificios de una de ellas no se corresponden con la que le sigue inmediatamente. Unos pulverizadores lanzan un chorro de agua sobre las pantallas arrastrando las partículas sólidas como se observa en la Fig. 8.

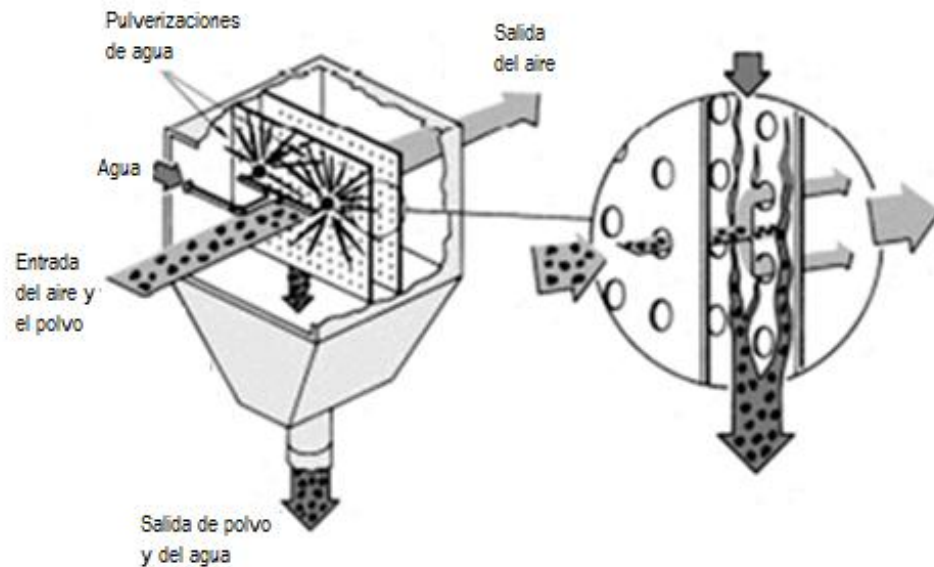


Fig.8. Separador húmedo de choque
Fuente: Soler & Palau, Soluciones Innovadoras (2006).

La pérdida de carga de este tipo de separadores es de aproximadamente 40 mm c.d.a. por cada pantalla, con un consumo de agua de 7 a 11 litros/min y 1.000 m³/h de gas tratado. El tamaño mínimo de las partículas a separar es de 5 μ m pudiendo llegar en algunos casos hasta una micra.

- **Separadores de choque**

Este tipo de separadores se basan en un inyector de agua a alta velocidad en el centro de una tobera venturi a la que va conectada la entrada de aire a presión cargado de polvo o suciedad.

El chorro de agua se descompone en finas gotas por la acción del aire a presión. A medida que éste se desacelera en el difusor, el material a separar se deposita en las gotas de agua por impacto, difusión y condensación. Las gotas con la suciedad incorporada se aglomeran facilitando su posterior separación o captación por colectores simples como se representa en la Fig.9. El consumo de agua es de 110 a 220 litros/min por cada 1.000 m³/h de gas tratado.

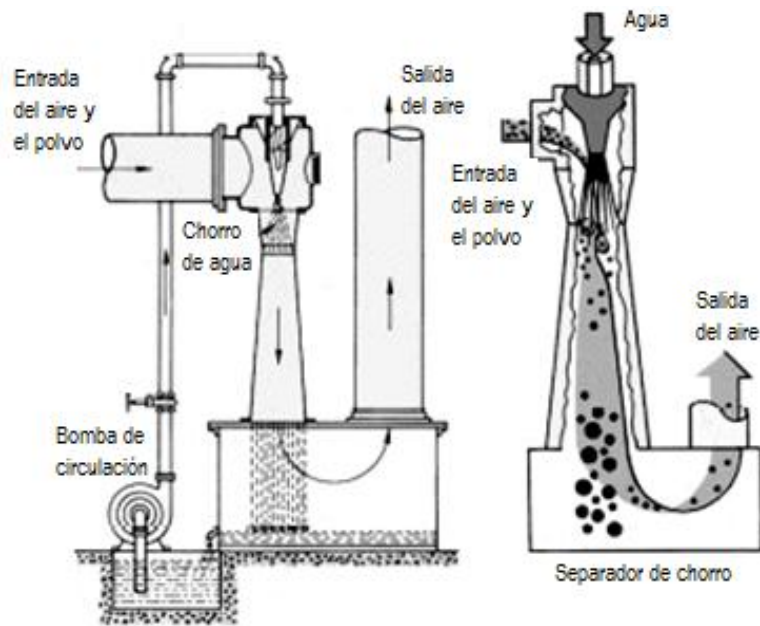


Fig.9. Separador de choque
Fuente: Soler & Palau, Soluciones Innovadoras (2006).

- **Separador de tobera sumergida**

Consiste en un recipiente de agua dentro del cual se introduce el aire a purificar, haciéndole barbotear en el líquido antes de lanzarlo al exterior. Algunas partículas impactan en la superficie del agua quedando allí retenidas. Ver Fig.10.

El aire al pasar por el agua capta una considerable cantidad de humedad por lo que puede considerársele apto para un posible uso de acondicionamiento. Aunque muchas partículas de suciedad quedan depositadas en el depósito de agua por la acción de la turbulencia de la misma, otras requerirán el uso de una acción anexa de colección o separación.

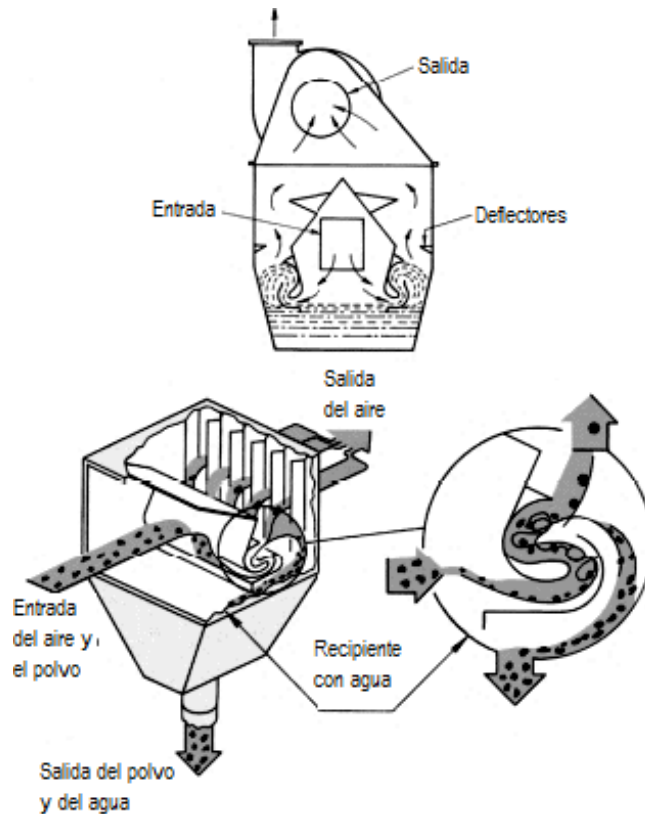


Fig.10. Separador de tobera sumergida
Fuente: Soler & Palau, Soluciones Innovadoras (2006).

1.4.3.3. Separadores por fuerzas de inercia

- **Cámaras de choque**

El separador por inercia más sencillo es la cámara de choque, sensiblemente igual a una cámara de sedimentación en la que se han intercalado unas pantallas contra las que choca el aire cargado de partículas. El tamaño de las partículas que es capaz de separar este tipo de separador se encuentra comprendido entre 50 y 150 μm . Ver Fig. 11.

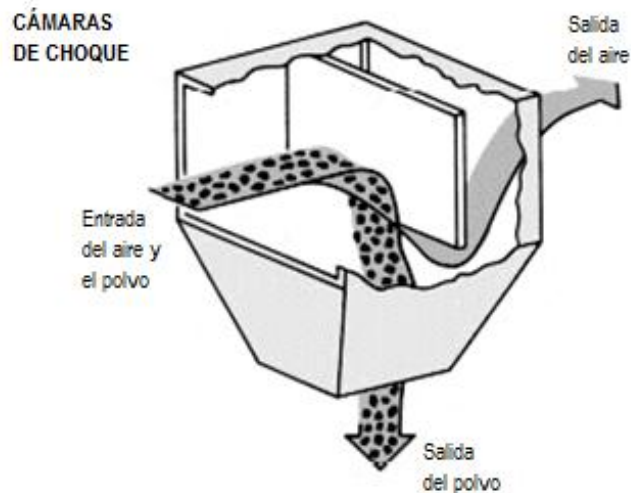


Fig.11. Cámaras de choque
Fuente: Soler & Palau, Soluciones Innovadoras (2006).

- **Ciclones**

Cuando es necesario separar partículas de diámetro superior a $5\ \mu\text{m}$ suele emplearse el dispositivo denominado ciclón. Es de gran sencillez, compacidad, fácil mantenimiento y elevada eficacia. El funcionamiento de este tipo de dispositivos se puede ver en la Fig.12.

El aire cargado de polvo entra tangencialmente por la parte superior cilíndrica. La corriente de aire sigue una trayectoria en espiral que primero se dirige hacia el fondo del tronco de cono, ascendiendo después por el centro del mismo. El aire, una vez depurado, abandona el ciclón por la parte superior. Las partículas separadas se descargan por el fondo del ciclón.

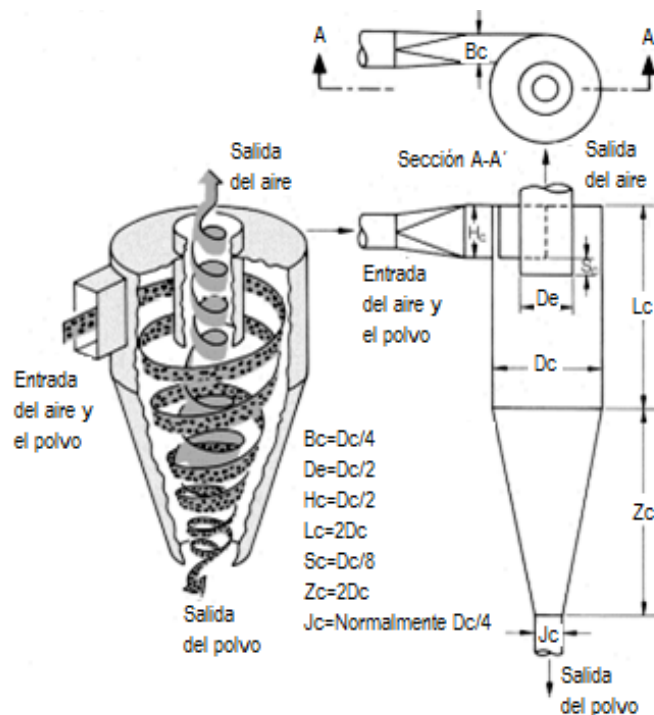


Fig.12. Ciclón

Fuente: Soler & Palau, Soluciones Innovadoras (2006).

El rendimiento de un ciclón depende de su diámetro y del tamaño de las partículas a separar tal como puede verse en la Tabla 6.

Tabla 6. Parámetros de dimensionamiento

Diámetro del ciclón(mm)	Rendimiento total (%)	Rendimiento % según tamaño partículas			
		Tamaño partículas (µm)	Rendimiento (%)	Tamaño partículas (µm)	Rendimiento (%)
150	90	<5	66	<5	98
230	83	<10	60	<10	99
610	70	<20	47	<20	98

Fuente: Soler & Palau, Soluciones Innovadoras (2006).

Otro elemento fundamental para un óptimo rendimiento de este tipo de separador de polvo es el correcto dimensionamiento.

- **Multiciclones**

En la Tabla 6 se muestra que el diámetro del ciclón es determinante para aumentar, tanto el rendimiento como el poder de separación de pequeñas partículas. La velocidad tangencial en la espiral principal puede ser varias veces la del flujo del aire. Hay una gradiente de velocidad desde la tangencial hasta la velocidad casi cero en el fondo del ciclón. Los ciclones de pequeño diámetro

tiene pequeños radios de curvatura por lo que producen mayores aceleraciones radiales para una misma velocidad tangencial. Esto unido a la menor distancia radial que el polvo debe recorrer hasta alcanzar la pared del ciclón hace que los pequeños ciclones sean mucho más eficientes para colectar pequeñas partículas que los ciclones mayores.

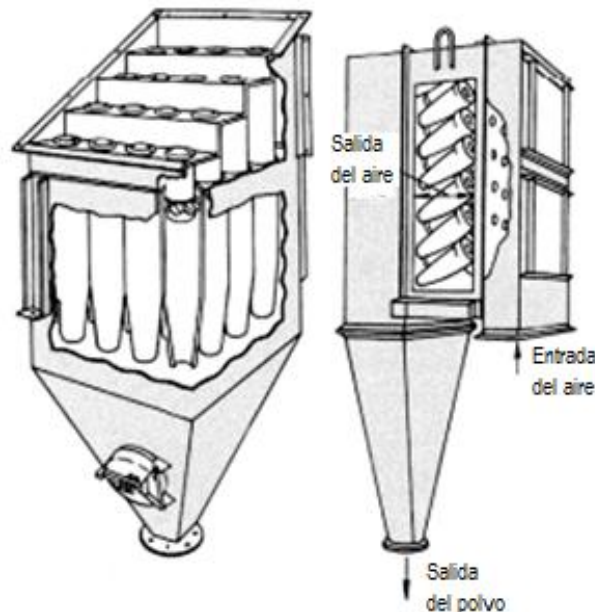


Fig.13. Multiciclón
Fuente: Soler & Palau, Soluciones Innovadoras (2006).

Por el contrario, ciclones de pequeño tamaño sólo son aptos para el tratamiento de pequeñas cantidades de aire. Una solución al anterior dilema se ha conseguido instalando un conjunto de pequeños ciclones en paralelo con lo que, sin disminuir el rendimiento y el poder separador, se pueden tratar caudales de aire de cualquier orden. La Fig. 13 representa un esquema de este tipo de dispositivo.

1.4.3.4. Extractor

1.4.3.4.1. Instalaciones de extracción de impurezas del aire

Son adecuadas para locales o fábricas donde se generan vapores o polvo. Aparte de la ventilación del local, la extracción de impurezas debe ser hecha lo más cerca posible del lugar donde se generan, por medio de un ventilador que, combinado con un sistema de campana y recolector, transporte las impurezas y las deposite (si es el caso) en lugares seguros (colectores).

Dependiendo de las condiciones físicas y geométricas del local, es aconsejable instalar dos o más ventiladores uniformemente distribuidos, con lo cual se obtiene una ventilación más eficiente del recinto. Ya que el motor está dispuesto en el trayecto de flujo de aire, se recomienda utilizarlo en temperaturas inferiores a 40° C, en la misma forma, para aplicaciones con humedad relativa alta del medio a transportar, se recomienda hacer protección.

1.4.3.4.2. Parámetros de trabajo de un extractor

Es importante mencionar que al igual que cualquier máquina rotativa de tipo centrífugo, el ventilador no genera presión sino caudal. La presión vendrá determinada por las características del sistema en donde se encuentre montado (diámetro de conducto, pérdidas de carga, grado de apertura de válvula, etc.) (Área Mecánica, 2012). Se observa que cuando la descarga es libre, es decir, cuando la presión estática es nula $Pe = 0$, el ventilador estará proporcionando el máximo caudal que pueda mover y en este punto la presión total será la presión dinámica proporcionada por la velocidad del aire, $Pt = Pd$.

Cuando la salida del ventilador se encuentra totalmente cerrada y no existe caudal, $Q = 0$, la presión dinámica es nula y en este punto la presión total es igual a la presión estática, $Pt = Pe$. Lo ideal sería elegir un ventilador de tal forma que el punto de trabajo estuviera próximo al punto donde se obtiene el rendimiento máximo, es decir, dentro del tramo A-B. Si se trabaja entre los puntos B-C, el rendimiento del equipo sería extremadamente bajo y el ventilador produciría una cantidad elevada de ruido. Ver Fig.14.

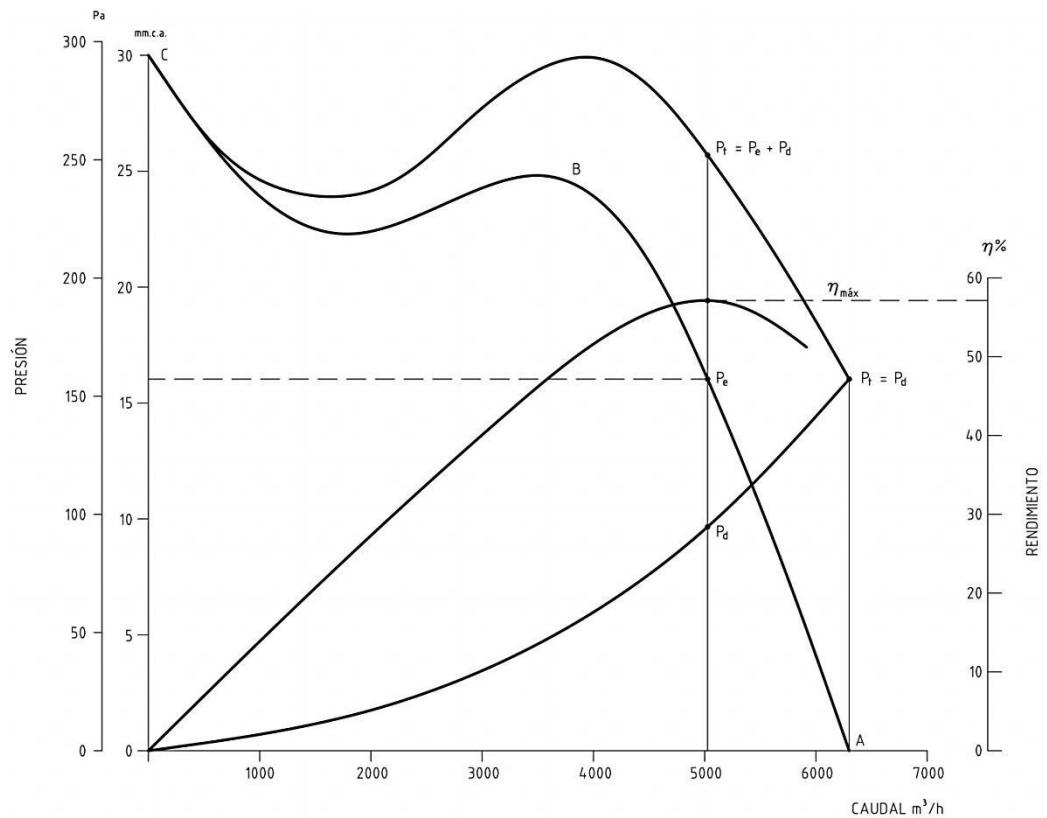


Fig.14. Curva característica de un ventilador
Fuente: Área Mecánica (Ventiladores Centrífugos, 2012).

1.4.3.4.3. Tipos de extractores

Existen tres tipos de extractores: axiales, centrífugos (o radiales) y mixtos.

- **Extractores axiales (extractores en línea)**

Estos extractores tienen sus aspas posicionadas alrededor del eje del motor (axis) y son muy eficientes para mover grandes volúmenes de aire. El diseño que hace esto posible también provoca que sean ineficientes en lo que a presión de aire se refiere. Las restricciones en el flujo de aire tanto de entrada como de salida (filtros, ducting, etc) reducirán drásticamente su rendimiento de extracción, por lo que no son recomendables para usar con filtros. Ver Fig.15.



Fig.15. Extractor axial

Fuente: Extracción y Ventilación Industrial (2014).

- **Extractores centrífugos (RVK)**

Son diseñados para generar presión de aire succionando aire por el centro del extractor y forzando su salida a través de una cavidad cónica que empuja el aire hacia el exterior. Esto significa que el extractor centrífugo es mucho mejor que el axial porque está pensado para soportar las pérdidas de carga producidas por un filtro, ducting, reflectores ventilados, etc. Ver Fig.16.

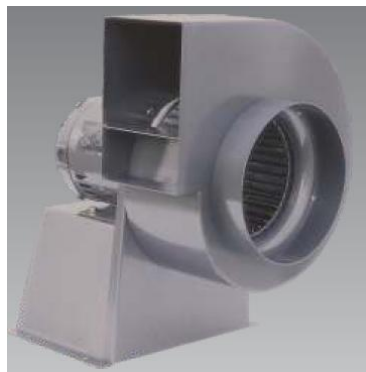


Fig.16. Extractor centrífugo

Fuente: Extracción y Ventilación Industrial (2014).

- **Extractores mixtos (Etaline)**

Son una combinación muy efectiva de diseño axial y radial. Las aspas del Etaline están situadas de forma similar al axial pero ensambladas en una cavidad cerrada. Además, el Etaline dispone de aspas especiales 3D que garantizan un flujo óptimo en todo el recorrido del aspa y un diseño de última generación que hacen de este modelo de ventilador el más silencioso, compacto y eficiente del mercado. Ver Fig.17.



Fig.17. Extractor mixto

Fuente: Extracción y Ventilación Industrial (2014).

1.4.3.4.1. Aplicaciones

- **Extractor Axial**

- Locales comerciales, bares, cafeterías, oficinas, salas de juntas, laboratorios, talleres, escuelas, etc.
- Ventilación comercial: bodegas, tiendas, almacenes, locales comerciales, locales deportivos, etc.
- Ventilación general para: talleres, comercios, almacenes, locales industriales, estacionamientos, procesos de pintura industrial, procesos industriales en general.

- **Extractor Centrífugo**

- Instalaciones en sistemas de ventilación, extracción, calefacción y acondicionamiento de aire. Impulsión de aire dentro de conductos, refrigeración de máquinas industriales, etc.
- Cámaras de pintura, secadores, manejo de humo, polvo, presurización en procesos industriales, etc.

- **Extractor Mixto**

- Equipos de aplicación industrial, para ser instalados en sistemas de presurización, como parte de sistemas de fabricación, inyección de aire en hornos, cabinas de pintura, etc.
- Ventilación industrial: naves, talleres, fábricas, refrigeración de máquinas, etc (Salvador Escoda S.A, 2012).

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

La contaminación del aire es la presencia de partículas indeseables en él, en cantidades excesivas, las cuales tienen efectos nocivos. Los materiales contaminantes perjudican la salud humana y el medio ambiente, así como también crean ambientes desagradables por el color y/u olor.

La mayoría de los elementos contaminantes entran a la atmósfera proveniente del sector industrial que, en la actualidad, se encuentran más allá del control humano, pero que se pretende controlar, para tratar de evitar la contaminación de nuestro ecosistema.

Por lo tanto se han implementado sistemas conocidos como separadores o purificadores cuya función es la de recoger el contaminante del aire antes que este regrese a la atmósfera, un dispositivo separador de aire adecuado siempre debería ser parte de un sistema de extracción.

Los separadores son muy diversos, según la técnica empleada y el contaminante el cual se trata durante el proceso; es por eso que ha escogido opciones que pueden ser utilizadas en el proceso de separación de partículas de pintura.

2.1. Alternativa 1 - Torre de pulverización

Las torres de pulverización son dispositivos de control de bajo costo utilizados principalmente para el acondicionamiento de aire contaminado, de partículas de la primera etapa o la eliminación de gases. También se utilizan en muchos sistemas de desulfuración de gases de combustión para reducir el taponamiento y la escala de la acumulación de contaminantes.

Son recipientes cilíndricos vacíos de acero o de plástico que poseen boquillas para la aplicación de líquido, estos equipos están basados en un mecanismo de impacto directo, donde el medio separador está formado por gotas de líquido cuya función es solamente mecánica.

El flujo de aire contaminado de entrada y el líquido van en la dirección opuesta formando una contracorriente, dejando al aire de salida con la concentración de los

contaminantes más bajo; este tipo de tecnología es una parte del grupo de controles de la contaminación del aire conocidos como depuradores húmedos como se puede observar en la Fig.18.

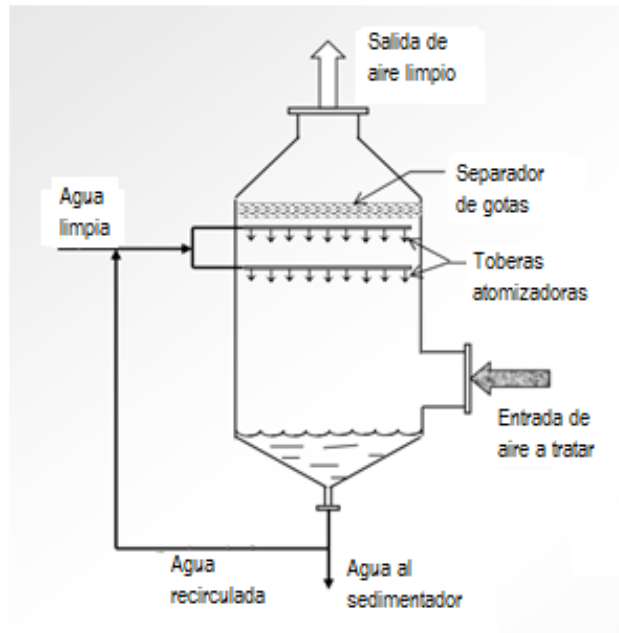


Fig.18. Mecanismo de recolección de partículas en una torre de pulverización
Fuente: Eliminación de Partículas (2003).

Las características principales de las torres de pulverización son:

- La descarga de aire al final se encuentra a baja temperatura por motivo del fuerte enfriamiento experimentado en el proceso.
- El sólido separado está mezclado con gotas líquidas formando una especie de lodo.
- El volumen ocupado por el equipo no suele ser muy grande.
- Las necesidades de líquido y las pérdidas de carga suelen ser considerables

El objetivo primordial de este equipo es lograr una adecuada dispersión de la fase líquida para promover el máximo contacto con las partículas.

Los datos básicos que se necesitan para el diseño de la torre de pulverización son:

- Eficiencia: 90% para diámetro de partícula (D_{p1}) > $10\mu\text{m}$
- Pérdida de carga: 25 – 50 mm de columna de H_2O
- Velocidad del aire : 1 – 2 m/s
- Tiempo de residencia: 20 – 30 s

- Caudal de agua: $0,4 - 2,7 \text{ l/m}^3$
- Presión en boquilla: $2,5 - 3,5 \text{ bar}$

2.1.1. Teoría de funcionamiento

Las torres de pulverización funcionan con un líquido inyectado al interior de la torre el cual se atomiza por la parte superior de la torre vacía, que en su interior posee algunos elementos mecánicos como los distribuidores de flujos que ayudan a mantener un caudal equivalente en toda su sección.

En la Fig.19 se puede apreciar que las gotas generadas caen mientras el gas que se introduce por la parte inferior de la torre, asciende en contracorriente. Al caer las gotas colisionan con los sólidos, humectando y arrastrando a las partículas.

Las partículas sólidas submicrónicas impactan con la superficie de las gotas, penetrando dentro de estas, siendo aglomeradas y luego extraídas del sistema. Los contaminantes contenidos en el aire son absorbidos por medio de la superficie de las gotas y son disueltos en el líquido.

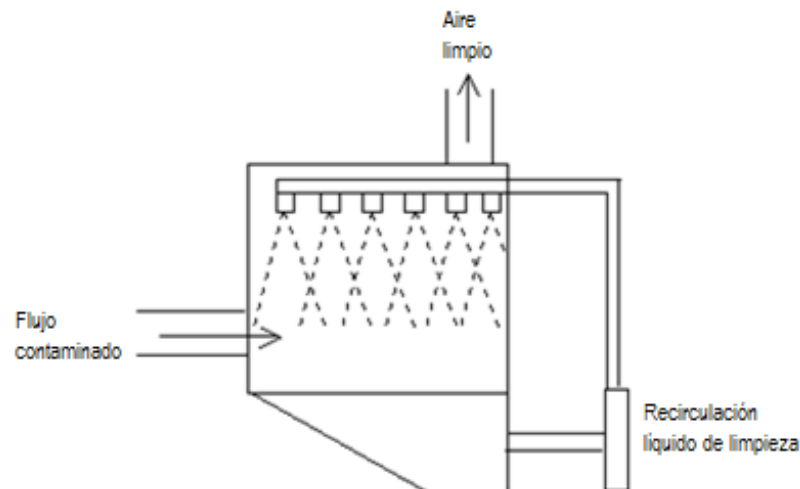


Fig.19. Sistema de pulverizadores
Fuente: Ingeniería Civil y Medio Ambiente (2008).

El líquido que contiene las partículas retenidas y los gases contaminantes absorbidos, descienden al fondo de la torre de donde se extrae para su limpieza y luego recircula hacia la parte superior como se puede ver en la Fig.20.

Para extraer los sólidos del sistema se necesita que el líquido este limpio, por lo que generalmente se realiza en primer lugar una decantación, filtrando el líquido de recirculación para extraer los sólidos. El líquido limpio se recircula a la cabeza de

la torre mediante una bomba y en los pulverizadores se disgrega en un gran número de gotas de tamaño pequeño y gran velocidad.

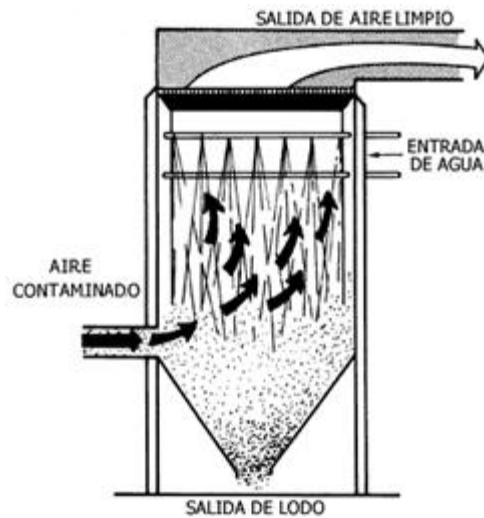


Fig.20. Torre de pulverización
Fuente: La Atmosfera. La Contaminación del aire (2010).

Para formar gotas de líquido más pequeñas se debe aumentar la presión en las boquillas. Para alcanzar una alta eficiencia en la recolección se deben producir pequeñas gotas haciendo que la diferencia entre la velocidad de la gotita y la velocidad de las partículas que se mueven hacia arriba sea alta. Las gotas pequeñas, sin embargo, tienen pequeñas velocidades de sedimentación, por lo que hay un intervalo óptimo de tamaño de gota para los depuradores que el trabajo de este mecanismo.

Los contaminantes gaseosos absorbidos deben eliminarse de la fase líquida para evitar reintroducirlos al sistema. En la parte superior de la torre de pulverización se instala un eliminador de nieblas para retener los aerosoles arrastrados por el gas.

En la torre de pulverización, la absorción se puede aumentar al disminuir el tamaño de las gotitas de líquido y/o el aumento de la relación de líquido a gas. Sin embargo, para llevar a cabo cualquiera de éstos, se requiere un aumento tanto de la energía consumida por lo que el costo operativo también aumentará. Además, el tamaño físico de la torre de pulverización limitará la cantidad de líquido y el tamaño de las gotitas que se pueden utilizar (Gilbert, W.J, 1977).

En la Fig.21 se observa el rendimiento de la torre de pulverización con respecto al tamaño de la partícula.

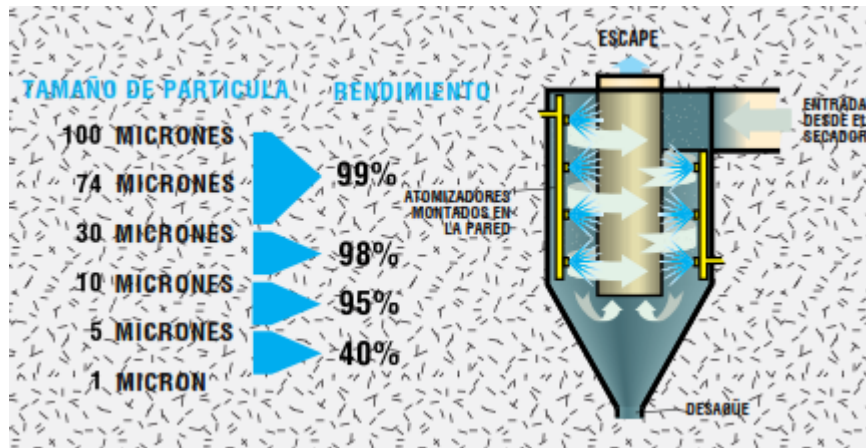


Fig.21. Rendimiento de acuerdo al tamaño de partícula
Fuente: Separadores de Polvos (1994).

2.1.2. Eficiencia

La eficiencia colectora de este dispositivo es muy aceptable para partículas de tamaños superiores a 10 μm . La eficiencia de una torre de pulverización va desde 94% para partículas de 5 μm hasta 99% para partículas de 25 μm . El uso de deflectores para incrementar el tiempo de contacto entre el gas y el líquido produce eficiencias del 97% para partículas de 5 μm o casi de 100% para partículas de 10 μm . Si se emplean aspersores de niebla de alta presión pueden obtenerse eficiencias altas para tamaños de partículas de hasta 1 μm .

2.1.3. Criterios de mantenimiento y detección de fallas

Los principales problemas de mantenimiento son por aspersión o erosión, especialmente cuando se utiliza líquido lavador reciclado. Para reducir estos problemas, un sistema de sedimentación o filtración se utiliza para eliminar las partículas abrasivas en el líquido de lavado reciclado antes de bombear de nuevo en las boquillas.

Es necesaria la eliminación de los sólidos del líquido de recirculación para evitar el desgaste rápido de los pulverizadores, debido a la abrasión de las boquillas por las partículas sólidas.

2.1.4. Ventajas y desventajas de su uso

2.1.4.1. Ventajas

- La principal ventaja de las torres de pulverización sobre otros depuradores es su diseño completamente abierto; que no tienen partes internas excepto para

las boquillas de pulverización, esto evita la acumulación de sarro y problemas de taponamiento asociados con otros depuradores.

- Las torres de pulverización tienen una elevada eficacia para partículas con diámetros superiores a los 10 μm de diámetro.
- Son fáciles de instalar y mantener, y tienen unas necesidades energéticas bajas y pueden trabajar con gases a cualquier temperatura.
- Costos de funcionamiento más reducidos.
- Capacidad para manejar grandes volúmenes de aire en atmósferas corrosivas.

2.1.4.2. Desventajas

- Son menos eficientes en la absorción y separación de contaminantes gaseosos. El líquido se pulveriza en gotas con un tamaño óptimo de 500 a 1000 μm .
- Precisan caudales importantes de líquido (3 a 14 l/m³ de gas) y tienen una baja eficacia eliminando partículas inferiores a 5 μm , así como contaminantes gaseosos.
- Generan residuos líquidos y lodos que hay que tratar y son equipos sometidos fácilmente a la corrosión por trabajar con un sistema húmedo.
- Costo de instalación elevado.

2.1.5. Aplicaciones

- Absorción de contaminantes gaseosos
- Separar con éxito polvos y nieblas o una combinación de toda clase de contaminantes
- Para eliminar nieblas de ácido, polvo fosfatado, polvo de fluoruro y otros polvos solubles
- Eliminación simultánea de ceniza y dióxido de azufre en calderas de carbón
- Limpieza de efluentes gaseosos de hornos secadores rotatorios
- Operaciones de Galvanizado, producción de cloruro de aluminio, secado de coque
- Plantas de hidratación de cal durante la producción de acetileno

2.2. Alternativa 2 - Ciclón

Los ciclones son equipos mecánicos estacionarios, los cuales son ampliamente utilizados en la industria, permiten la separación de partículas de un sólido o de un líquido que se encuentra suspendido en el aire, mediante la fuerza centrífuga como se observa en la Fig.22. Existe una variación de estos equipos conocidos como hidrociclones los cuales permiten la separación de líquidos de distintas densidades, o de sólidos de líquidos.

Los ciclones son equipos sencillos, los cuales al no poseer partes móviles son de fácil mantenimiento. Pero al ser poco versátiles no se adaptan a cambios en las condiciones de operación, ya que son diseñados para específicas condiciones de trabajo, por lo cual son poco flexibles a los cambios de concentración de polvos, caudal de aire y distribución de tamaños de partículas.

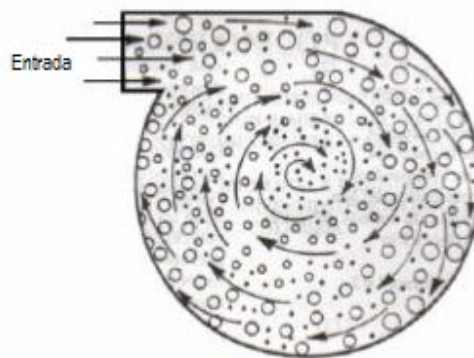


Fig.22. Mecanismo de colección de partículas en un ciclón
Fuente: Diseño Óptimo de Ciclones (2006).

Estos dispositivos se utilizan para controlar material particulado, principalmente de diámetro mayor de 10 micras (μm). Sin embargo, hay ciclones de alta eficiencia, los cuales son diseñados para controlar material particulado de diámetro aerodinámico menor o igual a 10 μm y menor o igual a 2.5 μm (MP10 y MP2.5). También es posible usar los ciclones para recolectar partículas mayores de 200 μm , es importante conocer que un ciclón se considerará ecológico cuando su creación se realiza para eliminar la contaminación.

2.2.1. Teoría de funcionamiento

El principio de funcionamiento de los ciclones utiliza la inercia para remover las partículas contenidas en la corriente de aire. Generado por una fuerza centrífuga a la corriente del aire, en una cámara de forma cónica. El ciclón crea un vórtice doble en su interior, el aire que entra es forzado a ir a la parte inferior del ciclón con un

movimiento circular cerca de la superficie del tubo del ciclón. En la parte inferior, la dirección del aire se invierte, para luego subir en forma espiral por el centro del tubo saliendo por la parte superior del mismo como se observa en el esquema de la Fig.23.

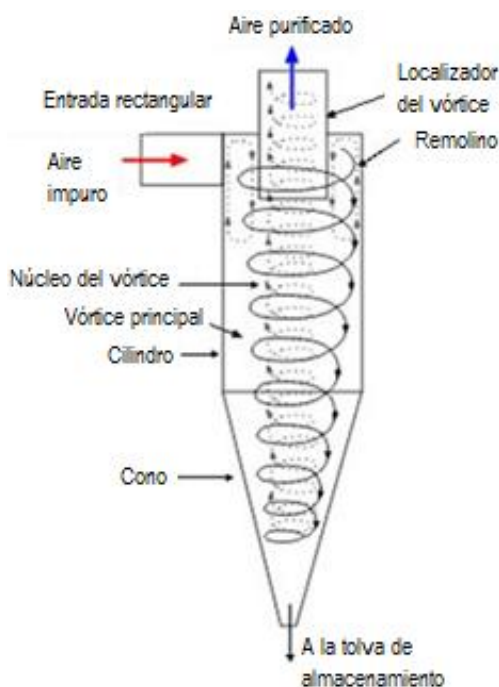


Fig.23. Partes del ciclón

Fuente: Desarrollo de las Actividades del Plan de Manejo Ambiental –Parte Aire- de la Trilladora San Mateo del Municipio de Chinchiná (2005).

Las partículas en la corriente del aire son forzadas hacia la pared del ciclón por la fuerza centrífuga del aire en rotación, pero se les opone la fuerza de arrastre del mismo que pasa por el ciclón hacia la salida. Con las partículas más grandes, la inercia vence a la fuerza de arrastre, haciendo que las partículas alcancen la pared del ciclón y sean colectadas (Bahamondes Santos, José Luis, 2008, pág.5).

Con las partículas más pequeñas, la fuerza de arrastre es mayor que la inercia, ocasionando que las partículas salgan del ciclón junto con el aire. La gravedad también hace que las partículas más grandes que llegan a la pared del ciclón bajen hacia la tolva. Aunque utilizan el mismo mecanismo de separación que los separadores por impulso, los ciclones son más efectivos porque tienen un patrón de flujo de aire más complejo (Bahamondes Santos, José Luis, 2008, Pag.5). Ver Fig.24.

Se debe tener un diseño apropiado de la sección cónica en la parte inferior del ciclón la cual obliga al cambio de dirección del vórtice que desciende, el vórtice ascendente tiene un radio menor, lo que hace que aumenten las velocidades tangenciales; en la parte del cono es donde se presenta la mayor recolección de

partículas, en donde se debe adaptar un sistema de recolección para su posterior desecho.

El diámetro de las partículas está entre 10-20 mm. La eficacia es del orden de un 80%. Son fáciles de mantener y no tienen una gran pérdida de carga. Pueden trabajar a cualquier temperatura.

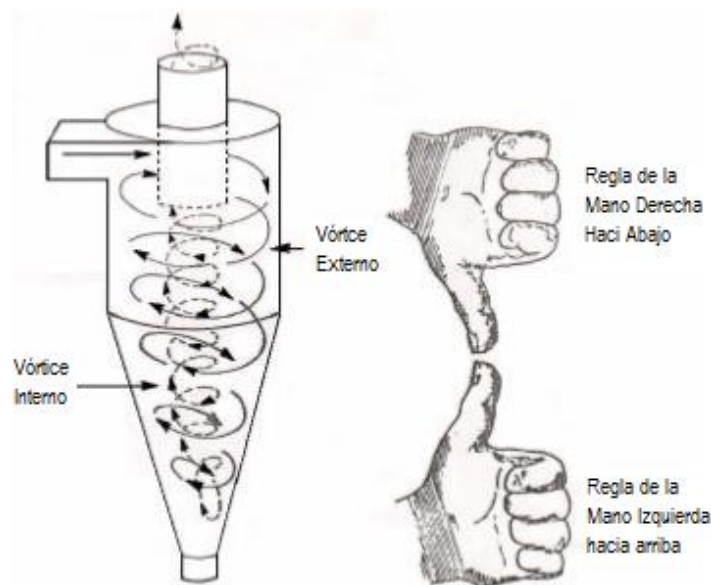


Fig.24. Vórtices en el ciclón
Fuente: Diseño Óptimo de Ciclones (2006).

2.2.2. Eficiencia

La eficiencia de recolección de partículas de los ciclones, es el punto más importante del diseño, lo cual hará que se pueda cumplir con el fin para el que fue construido y varía en función del tamaño de la partícula y del tipo de ciclón.

La eficiencia de los ciclones generalmente crece con el aumento de:

- El tamaño de partícula y/o la densidad
- La velocidad en el conducto de entrada
- La longitud del cuerpo del ciclón
- El número de revoluciones del gas en el ciclón
- La proporción del diámetro del cuerpo del ciclón al diámetro del conducto de salida del aire
- La carga de polvo
- El pulimento de la superficie de la pared interior del ciclón

La eficiencia de los ciclones disminuirá con el aumento de:

- La viscosidad del aire
- El diámetro del cuerpo
- El diámetro de la salida del aire
- El área del conducto de entrada del aire
- La densidad del aire

Los márgenes de eficiencia de control para los ciclones individuales, están con frecuencia basados en la clasificación de ellos, es decir, ciclón convencional, ciclón de alta eficiencia y ciclón alta capacidad. Para entender la eficiencia de los ciclones se debe saber que el término materia particulada (MP) se refiere a partículas de todos los tamaños presentes en la atmósfera, el tamaño de estas está dado por el número que se coloca luego MP# lo que nos dice que la materia particulada tiene un diámetro $\leq a \# \mu\text{m}$.

El rango de eficiencia de los ciclones individuales convencionales se estima que es de 70 a 90% para MP; de 30 a 90% para MP10 y de 0 a 40% para MP2.5.

Los ciclones individuales de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor control de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales. De acuerdo a estudios, este tipo de ciclones individuales pueden remover partículas de $5 \mu\text{m}$ con una eficiencia de hasta del 90%, pudiendo esta ser mayor con partículas más grandes. Los rangos de eficiencia de control de estos ciclones son de 80 a 99% para MP; de 60 a 95% para MP10 y de 20 a 70% para MP2.5.

Los ciclones de alta eficiencia tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de mayores costos de energía para mover el aire contaminado a través del ciclón.

De acuerdo con Vataavuk (1990), los ciclones de alta capacidad están garantizados solamente para remover partículas mayores de $20 \mu\text{m}$, aunque en cierto grado ocurra la colección de partículas más pequeñas. Los rangos de eficiencia de control de los ciclones de alta capacidad son de 80 a 99% para materia particulada; de 10 a 40% para MP10, de 0 a 10% para MP2.5. Se ha reportado que los multiciclones han alcanzado eficiencias de recolección de 80 a 95% para MP5.

2.2.3. Criterios de mantenimiento y detección de fallas

El mayor problema que sufren estos sistemas de transporte de material particulado, es el desgaste de sus partes componentes, debido a que el material particulado el cual va a ser procesado se desplaza a gran velocidad, produciendo con esto un desgaste de gran magnitud, por tanto, se recomienda:

- Medición de espesores de pared de ciclón en periodos no muy extensos, según características del planchaje usado
- Chequeo del ventilador (rodamientos, alineación, planchaje)
- Limpieza de material acumulado

La detección “in situ”, de un mal funcionamiento del separador ciclónico, se verá si ocurriese lo siguiente:

- Por exceso de salida de material por la chimenea, o humo excesivo (en el caso de secado)
- Igualando la cantidad de masa que se desea separar, con la que llega a su destino final

2.2.4. Parámetros de diseño

El procedimiento general de diseño comprende los siguientes puntos, seleccionando el tipo de ciclón, dependiendo del funcionamiento o necesidades requeridas. Como pueden ser:

- Caudal que genere el tipo de ventilador. ($\text{m}^3/\text{hora.}$)
- Peso específico del producto a transportar. (Kg/m^3)
- Tamaño de partículas a separar. (μm)
- Fluido de transporte
- Caudal de producto a transportar por la corriente gaseosa. (Kg/m^3)
- Obtener un estimativo de la distribución de tamaño de las partículas en la corriente gaseosa a ser tratada
- Calcular el diámetro del ciclón para una velocidad de entrada de 22 m/s (opcional), y determinar las otras dimensiones del ciclón
- Calcular la eficiencia del ciclón y caída de presión del ciclón

2.2.5. Ventajas y desventajas de su uso

2.2.5.1. Ventajas

- Bajo costo de inversión
- Costo de mantenimiento bajo (no tiene partes móviles)
- Permite la separación en condiciones drásticas de temperatura y presión
- Caída de presión constante
- Puede ser construido de variados materiales (cerámica, aleaciones, aceros, hierro fundido, aluminio, plásticos)
- Puede separar tanto partículas sólidas como líquidas, a veces ambas la vez, dependiendo de su diseño.

2.2.5.2. Desventajas

- Baja eficiencia para partículas de tamaño menor que el diámetro teórico de diseño, cuando operan en condiciones de bajas cargas de sólido.
- Caída de presión mayor que otros tipos de separadores
- Sujeto a erosión o ensuciamiento, si los sólidos procesados son abrasivos

2.2.6. Aplicaciones

Los ciclones se usan en tareas de control de la contaminación de aire, además se utilizan en procesos como:

- Disminución de material particulado en calderas
- Retiro del aire en redes de procesos neumáticos
- Se utilizan ampliamente después de operaciones de secado por aspersión en las industrias química y de alimentos y después de las operaciones de trituración, molienda y calcinación en las industrias química y de minerales para recolectar material útil o vendible.
- Mezclado de polvos en procesamiento de alimentos, mezclado de granos previo a molienda, mezclado e incorporación de ingredientes en harinas, preparación de formulaciones de pudines y mixturas de repostería, preparaciones de formulaciones para bebidas instantáneas diversas, incorporación de ingredientes y aditivos en productos deshidratados, etc.
- En la industria de metales ferrosos y no ferrosos, se utilizan como primera etapa en el control de las emisiones de material particulado en plantas; sinter

(plantas que crean una masa coherente por calentamiento sin fundición), roasters (un tipo horno para calentar material inorgánico con acceso al aire y efectuar un cambio sin fundir), kilns (tipo de hornos de calcinación).

- Las unidades industriales y comerciales de combustión que utilizan madera y/o combustibles fósiles, usan comúnmente ciclones múltiples (generalmente después de torres húmedas de absorción ó filtros de tela), los cuales recolectan la materia particulada fina ($<2.5\ \mu\text{m}$), con mayor eficiencia que un solo ciclón.

2.3. Alternativa 3 - Cámara de sedimentación

Estos equipos utilizan el principio de la sedimentación de las partículas que transporta una corriente de gas, por acción de la gravedad, es decir que son separadas por asentamiento natural.

Poseen una cámara de grandes dimensiones, que al entrar en la corriente gaseosa, pierde velocidad, permitiendo la sedimentación de las partículas de mayor tamaño, con el fin de reducir el recorrido de estas partículas se suele colocar una serie de superficies a modo de estantes que logran aumentar la eficacia de la separación, aunque se dificulta la limpieza. Ver Fig.25.

La eficiencia de estos equipos depende de la velocidad (baja o alta) de la corriente gaseosa, que permita la sedimentación; o de la aplicación de una fuerza centrífuga que incrementa la masa de las partículas. La eficiencia de colección varía, también, con el tamaño de las partículas y el tipo de colector.

En general, las partículas arrastradas por corrientes gaseosas varían en su tamaño desde 0,001 a 500 micrones. Las partículas con un tamaño inferior a $0,1\ \mu\text{m}$ están sujetas a movimientos de naturaleza aleatoria ocasionados por colisiones con las moléculas del gas que las arrastra. Las comprendidas entre $1\text{-}20\ \mu\text{m}$ tienden a seguir el movimiento del aire y solo las superiores al $20\ \mu\text{m}$ tienen velocidades de asentamiento por acción gravitatoria significativas.

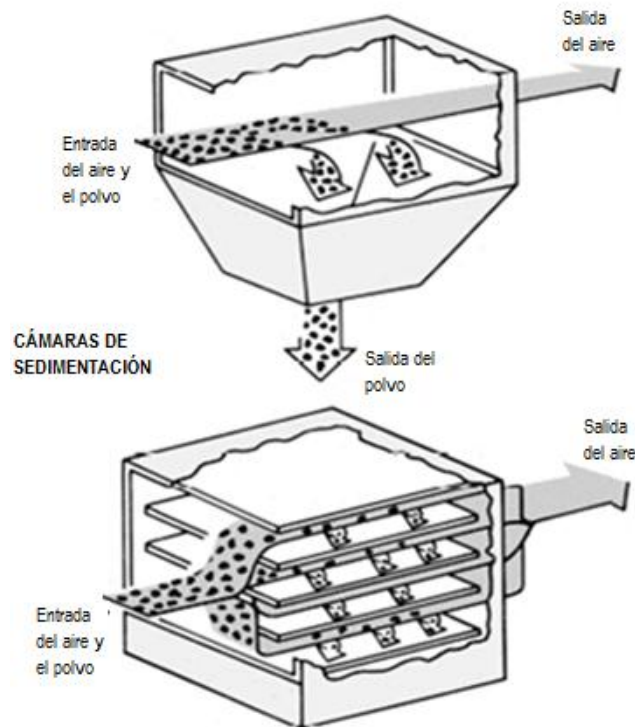


Fig.25. Cámara de sedimentación
Fuente: Soler & Palau, Soluciones Innovadoras (2006).

Desde un punto de vista práctico se puede establecer una distinción entre polvo que asienta con rapidez debido a su elevada velocidad de sedimentación y las partículas suspendibles, que sedimentan con tanta lentitud que puede considerarse que permanecerán en una corriente de aire por tiempo indefinido.

En base a este criterio, las partículas que interesan en métodos de colección que utilizan la fuerza gravitatoria como principio de funcionamiento para la separación de polvos son las comprendidas entre 20-50 μm y mayores. El dimensionado de un equipo que permita este fin está estrechamente ligado al conocimiento de la naturaleza del movimiento de una partícula que se mueve en el seno de un fluido.

2.3.1. Teoría de funcionamiento

Las cámaras de sedimentación forman parte del grupo de los llamados equipos de pretratamiento, por ser empleados para reducir la carga inicial de partículas de una corriente gaseosa eliminando de la misma las partículas de mayor tamaño así como las abrasivas.

En general el modelo estructural de estos dispositivos consiste en una amplia cámara donde se permite sedimentar a las partículas por acción gravitatoria.

La eficiencia de colección de las cámaras de sedimentación varía en función del tamaño de partícula y evidentemente del diseño de las mismas. La eficiencia de estos equipos es mayor para partículas grandes o densas; partículas que verifican que su velocidad límite es de al menos 13 cm/s y, como se mencionaba antes, de tamaños superiores a 50 μm que se pueden ver reducidos hasta 10 μm si el peso específico de la partícula es alto.

En la Fig.26 se observa que una cámara de sedimentación es un recipiente con una entrada en un lado y una salida situada al lado contrario, frontalmente o en la parte superior de la misma, de geometría rectangular su parte central, donde se permite a una corriente gaseosa expandirse de tal forma que la velocidad del aire dentro de la misma disminuye considerablemente permitiendo que la acción de la gravedad sedimente las partículas que esta arrastra.

La sección transversal del equipo es mucho mayor que la del ducto que se aproxima a él para que pueda expandirse el aire y reduzca su velocidad.

Se emplean tolvas que recolectan el sólido separado en la parte inferior. Debe tenerse en cuenta que el sistema de recolección de polvos esté completamente bien sellado para prevenir que entre aire y aumente la turbulencia en el equipo y reintegre las partículas al flujo de aire limpio.

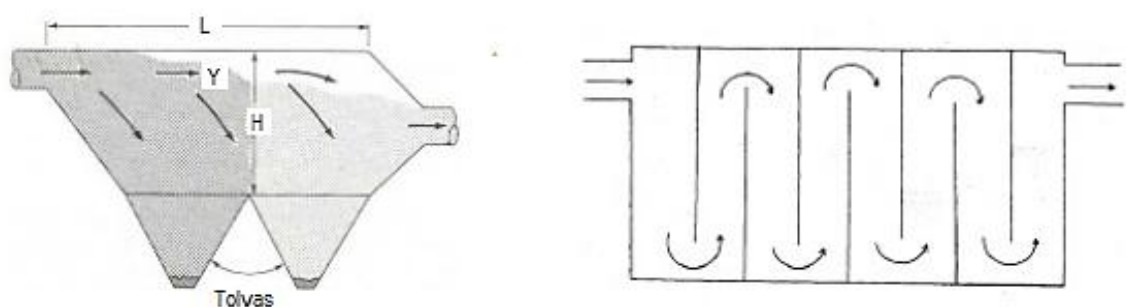


Fig.26. Cámara de expansión y cámara de tapas deflectoras.
Fuente: Operaciones Básicas con Sólidos y Fluidos (2009).

2.3.2. Parámetros de diseño

Es necesario determinar cierto número de factores antes de poder hacer un diseño eficiente del equipo colector. Entre los datos requeridos más importante se encuentran los siguientes:

Las propiedades físicas y químicas de las partículas.

- Condiciones de flujo requeridas por el proceso en el que se incluye el proceso
- Intervalo de concentración de partículas que se podría esperar
- Temperatura y presión de la corriente de flujo
- Humedad
- Naturaleza corrosiva de la fase gaseosa
- La condición requerida por el efluente tratado; es decir, los parámetros de calidad de la corriente tratada

2.3.3. Ventajas y desventajas del uso

2.3.3.1. Ventajas

- Equipos de bajo coste
- Muy bajo coste energético
- Pocas partes móviles, y por tanto menor necesidad de mantenimiento
- Excelente fiabilidad
- Baja caída de presión a través de la cámara
- Dispositivo no sujeto a abrasiones debido a la baja velocidad del gas
- Provee un enfriamiento adicional a la corriente gaseosa
- Las limitaciones de presión y temperatura dependen únicamente del tipo de material empleado

2.3.3.2. Desventajas

- Eficiencias de colección relativamente bajas
- Incapaz de trabajar con materiales gomosos
- Alto requerimiento espacial
- Las bandejas en el modelo Howard pueden deformarse durante condiciones de trabajo que involucren altas temperaturas

2.3.4. Aplicaciones

- A pesar de su baja eficiencia, se las han empleado ampliamente en el pasado.
- Las industrias de refinamiento de metales las emplean para separar las partículas grandes de las corrientes gaseosas tales como trióxido de arsénico de los minerales.
- Las plantas térmicas las emplean para separar partículas grandes no quemadas para reincorporar la corriente de gas a la caldera.

- También son útiles en aquellas industrias en las que se requiere enfriar la corriente gaseosa antes de un tratamiento mediante filtros.
- Las cámaras de sedimentación han sido usadas así mismo para prevenir la abrasión y la carga excesiva en otros dispositivos de separación.
- Las cámaras de bandejas no han tenido mucha aplicación debido a la dificultad de extraer el polvo depositado en las bandejas.
- Estos equipos han sido reemplazados, para la mayoría de las aplicaciones, por los ciclones debido a las menores necesidades de espacio y la mayor eficiencia de colección (Adriel Sosa, Marco, 2009, pág. 3).

2.4. Selección de la mejor alternativa

En el análisis de alternativas para la implementación de un separador o purificador en el sistema de extracción de partículas de pintura, se pretende sustentar al tomar en cuenta la parte económica, técnica como la facilidad de construcción, aplicación, eficiencia, funcionamiento, así como las ventajas y desventajas que presenta cada una de las opciones.

Después de haber analizado cada uno de los parámetros expuestos en las alternativas, se ha llegado a la conclusión que la alternativa 2 – Ciclón es más conveniente, debido que el material particulado será tomado como un sólido en suspensión, además es muy importante para la elección de este dispositivo el tamaño de las partículas, que aquí se considera como una niebla ya que son líquidas a temperatura y presión normal en los procesos de pulverización, así como otros requisitos que se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Cuadro comparativo de selección de la alternativa

SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA			
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	CÁMARAS DE SEDIMENTACIÓN	TORRES DE PULVERIZACIÓN	CICLON
EFICIENCIA DE RECOLECCIÓN	Alta con partículas de 10 a 10000 μm	94% para partículas de tamaños superiores a 25 μm	70 a 90% para material particulado mayores a 10 μm
CAIDAS DE PRESIÓN	Considerable (8 – 10 in de agua)	Pueden ser elevadas	Relativamente bajas (2 – 6 in de agua)
CONSTRUCCIÓN	Construcción sencilla	Construcción Sencilla	Construcción Sencilla
TIPO DE RESIDUOS	Genera residuos sólidos	Genera residuos líquidos y lodos	Genera residuos sólidos
COSTO	Alto costo de construcción y mantenimiento	Alto costo de construcción e instalación y bajo costo de mantenimiento	Bajo costo de construcción y mantenimiento
USO EN PINTURA	Nunca	Rara vez	Con frecuencia
USO DE ESPACIO	Usa mucho espacio	Se necesita un espacio considerable por la planta de tratamiento de aguas	La necesidad de espacio es relativamente pequeña.

Fuente: Autores

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE PARTÍCULAS

Para la extracción del aire contaminado con partículas de pintura por medio de ventilación, se tendrá en cuenta el volumen de la cabina de pintura y las renovaciones por hora para calcular el caudal que se ha de extraer, así como también la pérdida de carga en los conductos de ventilación, lo que permitirá seleccionar un extractor con las características adecuadas a las necesidades.

Para la eliminación de las partículas de pintura contenidas en el aire extraído de la cabina, se empleará un separador de tipo ciclón el cual es de gran sencillez, capacidad, fácil mantenimiento, donde se tomará en cuenta el tamaño de las partículas a separar y el caudal que genere el extractor seleccionado, además, se harán los cálculos para el dimensionamiento del mismo para que cumpla con su objetivo y alta eficiencia.

3.1. Cálculo de campanas de extracción

El objetivo principal del diseño de campanas industriales es encerrar el proceso industrial lo más completo posible, lo que permitirá que el operario pueda realizar su trabajo sin dificultades; entre las aplicaciones más comunes en donde se aplican las campanas por encerramiento son para procesos de pulverización de pintura.

Estas campanas ayudan a realizar la renovación del ambiente en locales cerrados habitados por personas, cuyo objetivo principal se basa en eliminar los olores, humos y otros contaminantes que pueden contener el aire que se respira, sustituyéndolo por aire fresco (Carnier Royo, Enrique, 1994, pág. 16).

3.1.1. Caudal de extracción

La manera más práctica de saber el número de renovaciones necesarias se establece a partir del uso y la frecuencia del lugar en donde se quiere realizar la extracción, en función de este uso se toma un valor para cada tipo de establecimiento o local y según la norma DIN 1946. Ver Tabla 8.

De no llevarse a cabo esta renovación, la respiración de los seres vivos que ocupan el local se haría dificultosa y molesta, siendo un obstáculo para las normales actividades que se desarrollan en su interior (Carnier Royo, Enrique, 1994, pág. 15).

Tabla 8. Renovaciones de los locales en general

Tipo de Local	Renov / h
Armarios roperos	4-6
Lavanderías	10-20
Auditorios	6-8
Locales acumuladores	5-10
Aulas	5-7
Locales de aerografía	10-20
Bibliotecas	4-5
Locales de decapado	5-15
Cabinas de pintura	25-50
Oficinas	4-8
Cámaras blindadas	3-6
Piscinas	3-4
Cines, Teatros	5-8
Remojos	0-80
Cocinas domésticas	15-25
Resturantes - Casinos	8-12
Cocinas colectividades	15-30
Salas de conferencia	6-8
Cuartos de baño	5-7
Salas de espera	4-6
Despachos de reuniones	6-8
Salas de fotocopia	10-15
Duchas	12-25
Salas de máquinas	10-40
Fundiciones	8-15
Salas de reuniones	5-10
Garajes	6
Talleres (muchta alteración)	10-20
Gimnasios	4-6
Talleres (poca alteración)	3-6
Habitaciones	3-8
Talleres de montajes	4-8
Inodoro en domicilio	4-5
Talleres de soldadura	20-30
Inodoro público/industrial	8-15
Tiendas	4-8
Laboratorios	8-15
Tintorerías	5-15
Laminadores	8-15
Vestuarios	6-8

Fuente: Soler & Palau, Manual Práctico de Ventilación (2012).

Para este caso el valor para las renovaciones por hora de acuerdo con la Tabla 8 es de 25-50 renov/h, debido a que se desea renovar el aire dentro de la cabina cada 2 minutos en 1 hora ya que al pintar se genera una niebla que con el pasar del tiempo impide la visibilidad entonces:

$$\text{Renovaciones} = \frac{60\text{min}}{2\text{min}} = 30\text{renovaciones}$$

Es necesario obtener el volumen total del lugar que se desea ventilar, en este caso una cabina de pintura la cual no tiene lados iguales como se observa en la Fig. 27, por lo tanto se debe sumar las áreas que la componen y multiplicarla por la longitud por medio de la Ec.1.

$$V = (A1 + A2) \times L \quad [\text{Ec.1}]$$

$V = \text{Volumen que ocupa el local}(\text{m}^3)$

$A = \text{Área}(\text{m})$

$L = \text{Longitud del local}(\text{m})$

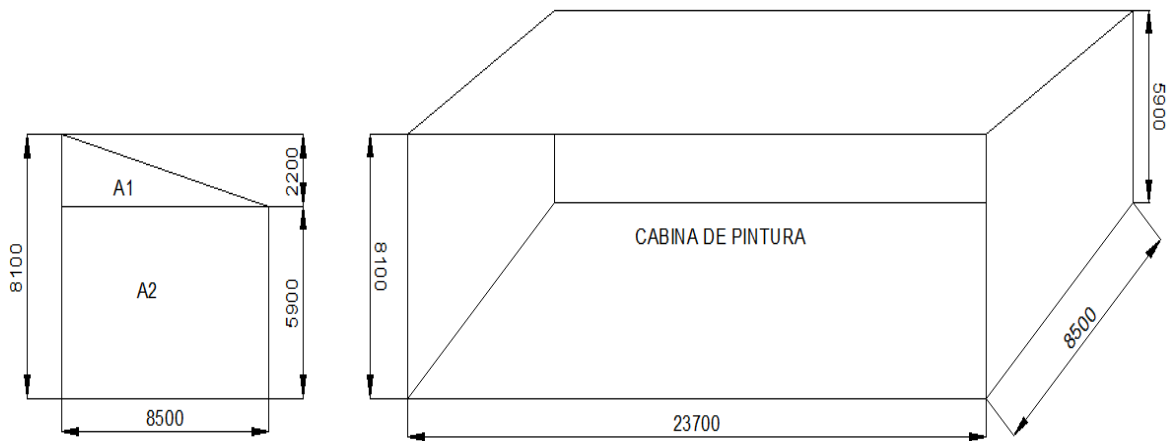


Fig.27. Dimensiones de la cabina de pintura
Fuente: Autores

Por lo tanto al aplicar la Ec.1 se obtiene:

$$V = \left[\frac{8,5\text{m} \times 2,2\text{m}}{2} + (8,5\text{m} \times 5,9\text{m}) \right] \times 23,7\text{m}$$

$$V = 1410,15\text{m}^3$$

Para realizar el diseño de las campanas se debe establecer el caudal que se desea extraer, garantizando de esta manera aire limpio en la cabina lo cual se conoce también como renovación o ventilación del aire contenido en el interior. El caudal Q de aire a extraer se calcula como:

$$Q = V \times N \quad [\text{Ec.2}]$$

$Q = \text{Caudal de aire a extraer}(\text{m}^3/\text{h})$

$V = \text{Volumen que ocupa el local}(m^3)$

$N = \text{Número de renovaciones por hora}(renov/h)$

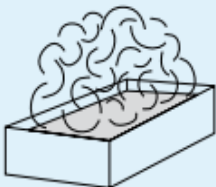

Al reemplazar valores en la Ec.2 se obtiene:

$$Q = 1410,15m^3 \times 30renov/h$$

$$Q = 42304,5m^3/h$$

Una vez encontrado Q que se desea extraer, se puede calcular el área de captación de las campanas, ya que en el diseño se empleara cuatro, por lo que el caudal total se dividirá entre las mismas dando un valor de $10576.13m^3/h$.

Tabla 9. Velocidades de captación

 Únicamente gases y vapores	Características de la fuente de contaminación	Ejemplos	Velocidad de captación m/s
	Desprendimiento con velocidades casi nulas y aire quieto.	Cocinas. Evaporación en tanques. Desengrasado.	0,25 - 0,5
	Desprendimientos a baja velocidad en aire tranquilo.	Soldadura. Decapado. Talleres galvanotecnia.	0,5 - 1
	Generación activa en zonas de movimiento rápido del aire.	Cabinas de pintura.	1 - 2,5
 Con partículas sólidas en suspensión	Generación activa en zonas de movimiento rápido del aire.	Trituradoras.	1 - 2,5
	Desprendimiento a alta velocidad en zonas de muy rápido movimiento del aire.	Esmerilado. Rectificado.	2,5 - 10

Fuente: Soler & Palau, Manual Práctico de Ventilación (2012).

Para que el dispositivo de captación sea efectivo, deberán asegurarse unas velocidades mínimas de captación. Esta velocidad se define como: “La velocidad que debe tener el aire para arrastrar los vapores, gases, humos y polvos en el punto más distante de la campana” (Soler & Palau, 2012, pág.25). Este rango de velocidades se observa en la Tabla 9.

3.1.2. Área de captación

Ya que las dimensiones de la cabina de pintura son grandes se necesitará una velocidad adecuada de captación y con el objetivo de reducir el área de las campanas, se toma del rango de velocidad, la mayor que en este caso es de 2,5 m/s.

$$Q = v_c \times A_c \Rightarrow A_c = \frac{Q}{v_c} \quad [\text{Ec.3}]$$

$Q = \text{Caudal de aire a extraer}(\text{m}^3/\text{h})$

$v_c = \text{Velocidad de captación}(\text{m/s})$

$A_c = \text{Área de captación de la campana}(\text{m}^2)$

Al reemplazar y aplicar la Ec.3 se obtiene:

$$A = \frac{10576,13 \text{ m}^3/\text{h}}{\frac{2,5 \text{ m}}{\text{s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}}}$$

$$A = 1,18 \text{ m}^2$$

El área para cada campana es de $1,18 \text{ m}^2$, que ayudará a extraer un caudal total de $42304,5 \text{ m}^3/\text{h}$, así se dimensionará las campanas de extracción de $1,08 \times 1,08 \text{ m}$; un dato dimensional importante de este tipo de campanas es que tienen un ángulo de 45° para casos industriales como se muestra en la Fig.28.

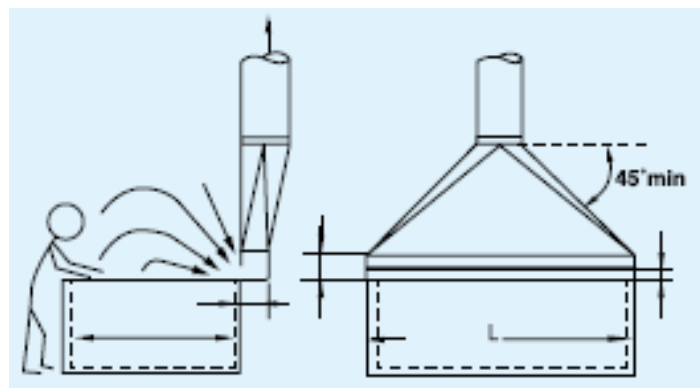


Fig.28. Ángulo de las campanas de extracción industrial
Fuente: Soler & Palau, Manual Práctico de Ventilación (2012).

Para obtener la altura de la campana, se realiza con base en el ángulo de la misma, así como diámetro del ducto, que será calculado posteriormente, además la longitud del ducto que sale de la campana se ha dimensionado de acuerdo al espacio que se tiene para adaptar este sistema como se observa en la Fig.29.

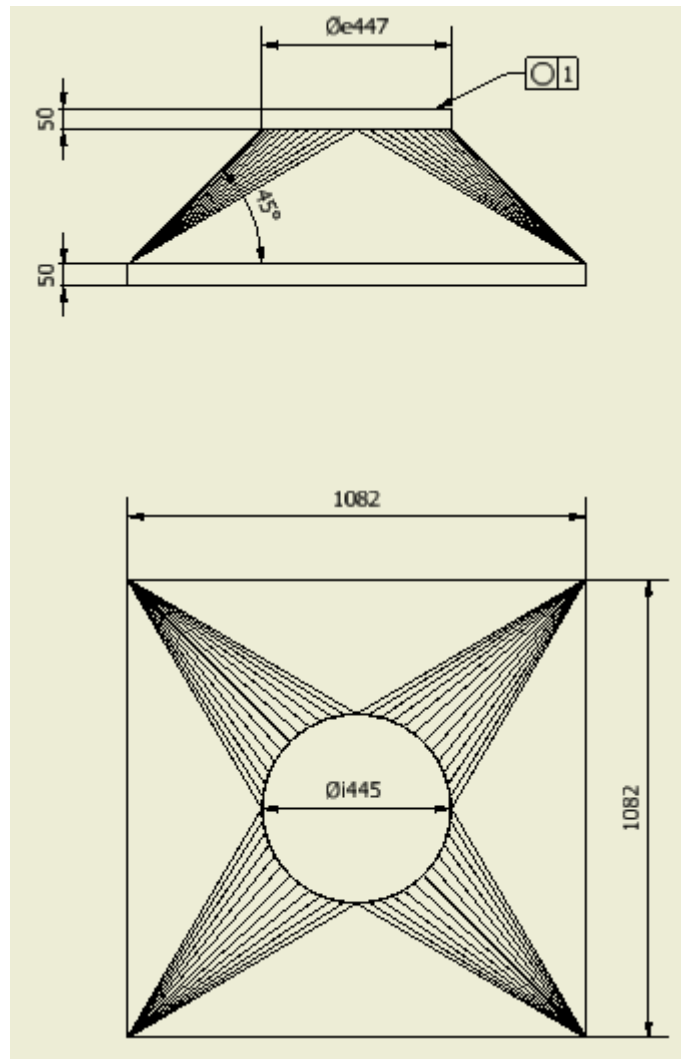


Fig.29. Dimensiones de las campanas de extracción
Fuente: Autores

3.2. Cálculo de ductos

Para ventilar un espacio, un recinto o una máquina, ya sea impulsado por aire o por extracción de aire o bien extrayéndole es muy corriente tener que conectar un ventilador/extractor por medio de un conducto, una tubería de mayor o menor longitud y de una u otra forma o sección (Salvador Escoda, 2012).

Cuando el aire contaminado ha sido arrastrado dentro de las campanas, el objetivo de los ductos es llevar dicho aire a un separador el cual lo limpiará. Al pasar el aire por los ductos debe vencerse la resistencia originada por la fricción, por lo tanto hay pérdidas de energía, las cuales se deben calcular con el objetivo de elegir el ventilador más adecuado.

3.2.1. Diámetro de los ductos

Es necesario proveer una adecuada velocidad de transporte para las partículas. El transporte de material particulado debe realizarse a una velocidad de aproximadamente 18 a 20 m/s para evitar la acumulación, ya que a la pintura se tratará como un polvo industrial medio como se observa en la Tabla 10; debido a que se tiene un rango de velocidad se toma para fines de cálculo la velocidad promedio que es de 19 m/s.

Tabla 10. Valores mínimos de las velocidades de transporte de aire en ductos

partículas sólidas en suspensión gases y vapores	Características de la fuente de contaminación	Velocidad m/s
Gases, vapores		5 a 6(*)
Humos	Humos de óxido de zinc y de aluminio.	7 a 10(*)
Polvos muy finos y ligeros	Felpas muy finas de algodón.	10 a 13
Polvos secos y pólvoras	Polvos finos de caucho, de baquelita; felpas de yute; polvos de algodón, de jabón.	13 a 18
Polvos industriales medios	Abrasivo de lijado en seco; polvos de amolar; polvos de yute, de grafito; corte de briquetas, polvos de arcilla, de calcáreo; embalaje o pesada de amianto en las industrias textiles.	18 a 20
Polvos pesados	Polvo de toneles de enarenado y desmoldeo, de chorreado, de escariado.	20 a 23
Polvos pesados o húmedos	Polvos de cemento húmedo, de corte de tubos de amianto-cemento, de cal viva.	>23
(*)Generalmente se adoptan velocidades de 10 m/s		o transporte neumático húmedo

Fuente: Soler & Palau, Manual Práctico de Ventilación (2012).

$$Q = v_d \times A_d = v_d \times \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{V \cdot \pi}} \quad [\text{Ec.4}]$$

Q = Caudal de aire a extraer(m^3/h)

v_d = Velocidad en el ducto(m/s)

A_d = Área del ducto(m^2)

D = Diámetro interior del ducto(m)

Debido a que cada una de las campanas capta la cuarta parte del caudal, para luego en los ductos unirse y hacerse un caudal total, se aplica la Ec.4 para obtener el diámetro de los mismos.

Con $Q_1 = 10576,125 m^3/h$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \times (10576,125 \text{ m}^3/h)}{(19 \text{ m/s}) \times \left(\frac{3600s}{1h}\right) \times \pi}}$$

$$D_1 = 0,443 \text{ m} = 443\text{mm} = 445\text{mm}(\text{diámetro interior})$$

$$\text{Con } Q_2 = 21152,25\text{m}^3/h$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \times (42304,5 \text{ m}^3/h)}{(19 \text{ m/s}) \times \left(\frac{3600s}{1h}\right) \times \pi}}$$

$$D_2 = 0,627 \text{ m} = 627\text{mm} = 630\text{mm}(\text{diámetro interior})$$

$$\text{Con } Q_3 = 31728,375\text{m}^3/h$$

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \times (31728,375 \text{ m}^3/h)}{(19 \text{ m/s}) \times \left(\frac{3600s}{1h}\right) \times \pi}}$$

$$D_3 = 0,768 \text{ m} = 768\text{mm} = 770\text{mm}(\text{diámetro interior})$$

$$\text{Con } Q_4 = 42304,5 \text{ m}^3/h$$

$$D_4 = \sqrt{\frac{4 \times (42304,5 \text{ m}^3/h)}{(19 \text{ m/s}) \times \left(\frac{3600s}{1h}\right) \times \pi}}$$

$$D_4 = 0,887 \text{ m} = 887\text{mm} = 890\text{mm}(\text{diámetro interior})$$

En la Fig. 30 se observa la variación de diámetro en los ductos, debido a que hay un aumento de caudal, ya que se mantendrá la velocidad constante en el sistema se utiliza una transición para unir los ductos.

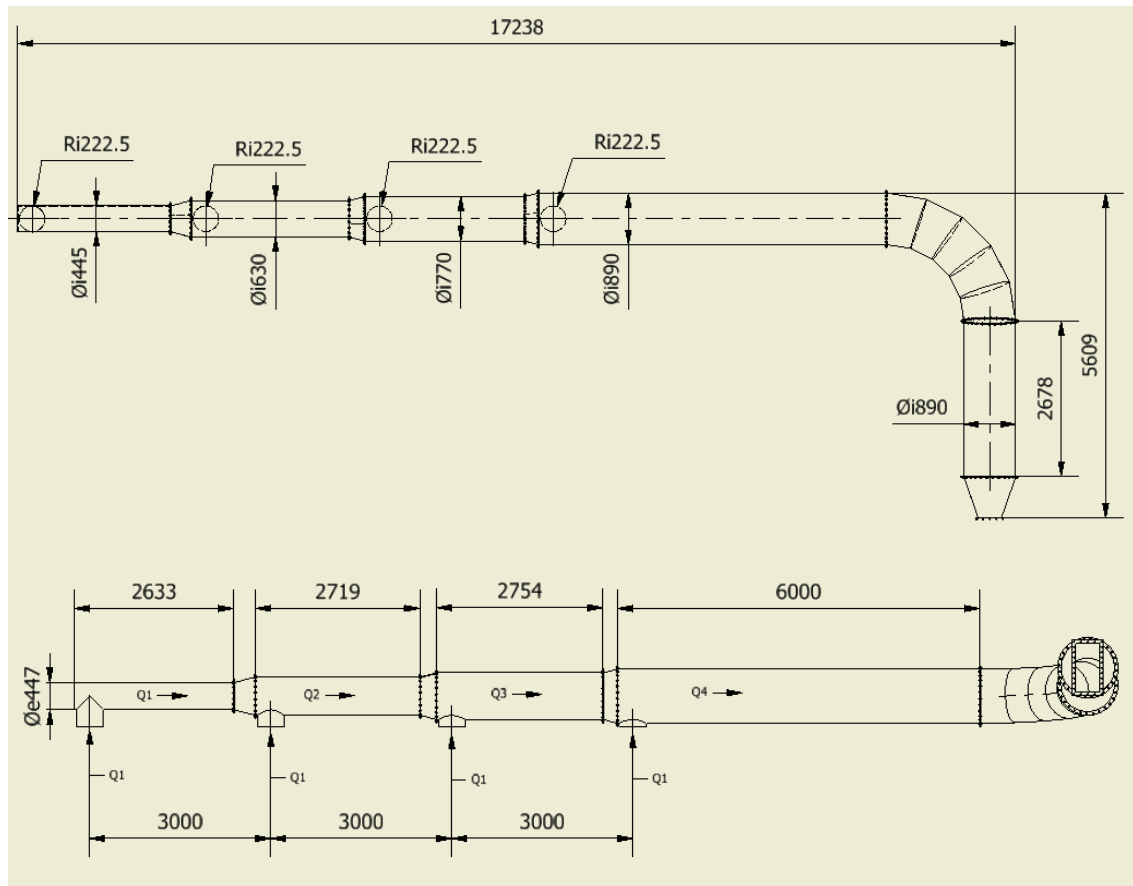


Fig.30. Dimensiones de los ductos
Fuente: Autores

3.2.2. Pérdidas de energía por rozamiento

El comportamiento de un flujo, en particular en lo que se refiere a pérdidas de energía, dependerá de que el flujo sea laminar o turbulento. Se demuestra de forma experimental y se verifica de modo analítico, que el carácter del flujo en un tubo redondo depende de cuatro variables: la densidad del fluido ρ , su viscosidad η , el diámetro del tubo D y la velocidad promedio del flujo v (Mott, Robert. L, 2006, pág.230-231).

Para aplicaciones prácticas del flujo en tuberías, si el número de Reynolds para el flujo es menor que 2000, éste será laminar. Si el número de Reynolds es mayor que 4000, el flujo será turbulento (Mott, Robert. L, 2006, pág.230-231). La Ec.4 muestra la definición básica del número de Reynolds:

$$N_R = \frac{v_d \times D \times \rho_a}{\eta_a} \quad [\text{Ec.5}]$$

N_R = Número de Reynolds

$v_d = \text{Velocidad en el ducto}(m/s)$

$D = \text{Diámetro del ducto}(m)$

$\rho_a = \text{Densidad del aire}(kg/m^3)$

$\eta_a = \text{Viscosidad dinámica del aire}(Pa.s)$

Debido que la densidad del fluido es una variable del número de Reynolds y la misma varía con la altura es necesario calcularla con las condiciones que se presentan en la ciudad de Quito que es donde se instalará el sistema de extracción. Para obtener la densidad del aire a una cierta altura se puede aplicar la Ec.5:

$$\rho_a = \frac{P_{atm}}{R_a(Ta + \beta \cdot \gamma)} \quad [\text{Ec.6}]$$

$P_{atm} = \text{Presión atmosférica}(KN/m^2)$

$\rho_a = \text{Densidad del aire}(kg/m^3)$

$R_a = \text{Constante ideal del aire}(287 J/Kg.^{\circ}K)$

$Ta = \text{Temperatura de trabajo}$

$\beta = -0,00645 (^{\circ}K/m)$

$\gamma = 2800 (m)$

Condiciones iniciales

- Temperatura de trabajo es de $Ta = 20^{\circ}C \Rightarrow Ta = 20^{\circ}C + 273 = 293^{\circ}K$
- Constante ideal del aire es $R = 287 \frac{J}{Kg.^{\circ}K}$
- Presión atmosférica en Quito es de $10,57 psi = 72852,47 Pa$
- β : Constante de corrección relacionada con la altura sobre nivel del mar, a la que el fluido se encuentra.
- γ : Altura con respecto al nivel del mar en la que se ubica la ciudad donde se instalará el sistema 2800 m a altura de Quito.

Al reemplazar valores en la Ec.5 se obtiene:

$$\rho_a = \frac{72,85247 \frac{KN}{m^2}}{0,287 \frac{KN \cdot m}{Kg \cdot K} \times \left(293^{\circ}K + \left(-0,00645 \frac{^{\circ}K}{m} \right) \times 2800 m \right)}$$

$$\rho_a = 0,928 kg/m^3$$

Otro factor importante del número de Reynolds es la viscosidad dinámica o absoluta, la cual no es necesario calcular debido a que la misma varía respecto a la temperatura y no a la altura a la que se encuentra el fluido. De acuerdo a las condiciones iniciales se toma a 20°C de la Tabla 11.

Tabla 11. Propiedades del aire versus temperatura en unidades del S.I

Temperatura T (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Peso específico γ (N/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
-40	1.514	14.85	1.51×10^{-5}	9.98×10^{-6}
-30	1.452	14.24	1.56×10^{-5}	1.08×10^{-5}
-20	1.394	13.67	1.62×10^{-5}	1.16×10^{-5}
-10	1.341	13.15	1.67×10^{-5}	1.24×10^{-5}
0	1.292	12.67	1.72×10^{-5}	1.33×10^{-5}
10	1.247	12.23	1.77×10^{-5}	1.42×10^{-5}
20	1.204	11.81	1.81×10^{-5}	1.51×10^{-5}
30	1.164	11.42	1.86×10^{-5}	1.60×10^{-5}
40	1.127	11.05	1.91×10^{-5}	1.69×10^{-5}
50	1.092	10.71	1.95×10^{-5}	1.79×10^{-5}
60	1.060	10.39	1.99×10^{-5}	1.89×10^{-5}
70	1.029	10.09	2.04×10^{-5}	1.99×10^{-5}
80	0.9995	9.802	2.09×10^{-5}	2.09×10^{-5}
90	0.9720	9.532	2.13×10^{-5}	2.19×10^{-5}
100	0.9459	9.277	2.17×10^{-5}	2.30×10^{-5}
110	0.9213	9.034	2.22×10^{-5}	2.40×10^{-5}
120	0.8978	8.805	2.26×10^{-5}	2.51×10^{-5}

Fuente: Mecánica de Fluidos (2006).

Al tener las cuatro variables que componen el número de Reynolds, se aplica la Ec.4 y se obtiene:

Para $D_1 = 0,443 \text{ m}$

$$N_{R1} = \frac{0,928 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 19 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,443 \text{m}}{1,81 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}}$$

$$NR_1 = 431545,6354$$

Para $D_2 = 0,627 \text{ m}$

$$N_{R2} = \frac{0,928 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 19 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,627 \text{m}}{1,81 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}}$$

$$N_{R2} = 610788,066$$

Para $D_3 = 0,768 \text{ m}$

$$N_{R3} = \frac{0,928 \frac{kg}{m^3} \times 19 \frac{m}{s} \times 0,768m}{1,81 \times 10^{-5} Pa.s}$$

$$N_{R3} = 748142,3204$$

Para $D_4 = 0,887 m$

$$N_{R4} = \frac{0,928 \frac{kg}{m^3} \times 19 \frac{m}{s} \times 0,887m}{1,81 \times 10^{-5} Pa.s}$$

$$N_{R4} = 864065,4144$$

Para la salida del ciclón $D_5 = 0,80 m$

$$N_{R5} = \frac{0,928 \frac{kg}{m^3} \times 22,1 \frac{m}{s} \times 0,80m}{1,81 \times 10^{-5} Pa.s}$$

$$N_{R5} = 906466,2983$$

$N_R > 4000$ por lo tanto el flujo es turbulento en los ductos

Al tener el valor del número de Reynolds y conocer que en el sistema existe flujo turbulento, se puede calcular por medio de la Ec.6 el valor del factor de fricción para dicho flujo que la desarrollaron P.K.Swamee y A.K.Jain (Mott, Robert. L, 2006, pág.242):

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times \left(\frac{D}{\epsilon} \right) + N_R^{0,9}} \right) \right]^2} \quad [\text{Ec.7}]$$

$f =$ Factor de fricción de Darcy Weisbach

$D =$ Diámetro interior del ducto (m)

$\epsilon =$ Rugosidad del ducto (m)

$N_R =$ Número de Reynolds

Uno de los componentes para el cálculo del factor de fricción es la rugosidad de la tubería, que cambia su valor de acuerdo a cada material como se observa en la Tabla 12, que para este caso se utilizará Acero negro debido a que en la empresa Proyectos Mecánicos PROMEC S.C.C. se cuenta con este material y se lo recubrirá con pintura anticorrosiva.

Tabla 12. Valores de diseño de la rugosidad de tubos

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Fuente: Mecánica de Fluidos (2006).

Al reemplazar valores en la Ec.6 se obtiene:

Para $D_1 = 0,443 \text{ m}$

$$f_1 = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times \left(\frac{0,443}{4,6 \times 10^{-5}} \right)} + \frac{5,74}{(431545,6354)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f_1 = 0,0147$$

Para $D_2 = 0,627 \text{ m}$

$$f_2 = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times \left(\frac{0,627}{4,6 \times 10^{-5}} \right)} + \frac{5,74}{(610788,066)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f_2 = 0,0138$$

Para $D_3 = 0,768 \text{ m}$

$$f_3 = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times \left(\frac{0,768}{4,6 \times 10^{-5}} \right)} + \frac{5,74}{(748142,3204)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f_3 = 0,0133$$

Para $D_4 = 0,887 \text{ m}$

$$f_4 = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times \left(\frac{0,887}{4,6 \times 10^{-5}} \right)} + \frac{5,74}{(864065,4144)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f_4 = 0,0129$$

Para la salida del ciclón $D_5 = 0,80 \text{ m}$

$$f_5 = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \times \left(\frac{0,80}{4,6 \times 10^{-5}} \right)} + \frac{5,74}{(906466,2983)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f_5 = 0,0129$$

En la mayoría de sistemas que manejan aire, las presiones son pequeñas y se miden en pulgadas de agua manométricas (pulg H₂O) (Mott, Robert. L, 2006, pág.543-544). En todos los conductos por los que circula aire, existe una continua pérdida de presión. La pérdida de presión se llama también perdida de carga por rozamiento y para conductos circulares, viene dada por la ecuación de Darcy Weisbach (Carrier Air Conditioning, 2009, pág. II35):

$$hL = f \times \frac{L_d}{D} \times \rho_a \times \frac{v_d^2}{2} \quad [\text{Ec.8}]$$

hL = Pérdida de presión por fricción (Pa)

f = Factor de fricción

L_d = Longitud del ducto (m)

D = Diámetro interior del ducto (m)

v_d = Velocidad en el ducto (m/s)

ρ_a = Densidad del aire (kg/m³)

Al reemplazar los siguientes datos en la Ec.7 se tiene:

$$f_1 = 0,0147 \Rightarrow f_2 = 0,0138 \Rightarrow f_3 = 0,0133 \Rightarrow f_4 = 0,0129 \Rightarrow f_5 = 0,0129$$

$$L_{d1} = L_{d2} = L_{d3} = 2,98\text{m} \Rightarrow L_{d4} = 11,63\text{m} \Rightarrow L_{d5} = 10,74\text{m}$$

$$D_1 = 0,443 \text{ m} \Rightarrow D_2 = 0,627\text{m} \Rightarrow D_3 = 0,768\text{m} \Rightarrow D_4 = 0,887\text{m} \Rightarrow D_5 = 0,80\text{m}$$

$$v_d = 19m/s \Rightarrow v_s = 22,1m/s(\text{velocidad de saltaci3n})$$

$$\rho_a = 0.928kg/m^3$$

$$\begin{aligned} hL_1 = \Delta p_1 &= 0,0147 \times \frac{2,98m}{0,443m} \times \frac{0,928kg}{m^3} \times \frac{\left(\frac{19m}{s}\right)^2}{2} \\ &= 15,77Pa \times \frac{4,01 \times 10^{-3} pulgH2O}{1Pa} \end{aligned}$$

$$hL_1 = \Delta p_1 = 0,063pulgH2O$$

$$\begin{aligned} hL_2 = \Delta p_2 &= 0,0138 \times \frac{2,98m}{0,627m} \times \frac{0,928kg}{m^3} \times \frac{\left(\frac{19m}{s}\right)^2}{2} \\ &= 10,98Pa \times \frac{4,01 \times 10^{-3} pulgH2O}{1Pa} \end{aligned}$$

$$hL_2 = \Delta p_2 = 0,044pulgH2O$$

$$\begin{aligned} hL_3 = \Delta p_3 &= 0,0133 \times \frac{2,75m}{0,768m} \times \frac{0,928kg}{m^3} \times \frac{\left(\frac{19m}{s}\right)^2}{2} \\ &= 8,64Pa \times \frac{4,01 \times 10^{-3} pulgH2O}{1Pa} \end{aligned}$$

$$hL_3 = \Delta p_3 = 0,035pulgH2O$$

$$\begin{aligned} hL_4 = \Delta p_4 &= 0,0129 \times \frac{11,63m}{0,887m} \times \frac{0,928kg}{m^3} \times \frac{\left(\frac{19m}{s}\right)^2}{2} \\ &= 28,33Pa \times \frac{4,01 \times 10^{-3} pulgH2O}{1Pa} \end{aligned}$$

$$hL_4 = \Delta p_4 = 0,113pulgH2O$$

$$\begin{aligned} hL_5 = \Delta p_5 &= 0,0129 \times \frac{10,74m}{0,80m} \times \frac{0,928kg}{m^3} \times \frac{\left(\frac{22,1m}{s}\right)^2}{2} \\ &= 39,25Pa \times \frac{4,01 \times 10^{-3} pulgH2O}{1Pa} \end{aligned}$$

$$hL_5 = \Delta p_5 = 0,157pulgH2O$$

3.2.3. Pérdidas de energía por accesorios

Además de las pérdidas de carga continuas o por rozamiento, se produce otro tipo de pérdidas en los conductos debido a fenómenos de turbulencia que se originan al paso de fluidos por puntos singulares de las tuberías, como cambios de dirección, codos, juntas, derivaciones, etc, y que se conocen como pérdidas de carga singulares, que sumadas a las pérdidas de carga lineal dan las pérdidas de carga totales. Es costumbre expresar las pérdidas por fricción h_f en accesorios en términos de presión de velocidad (Echeverri Londoño Carlos Alberto, 2011, pág.101).

$$h_f = n_f \times P_v \quad [\text{Ec.9}]$$

h_f = Pérdidas por fricción en accesorios(mmH2O)

n_f = Coeficiente de pérdidas por fricción

P_v = Presión de velocidad de la corriente de aire(mmH2O)

La relación entre la velocidad y la presión de velocidad en un conducto que transporta aire está dada por (Echeverri Londoño Carlos Alberto, 2011, pág.88):

$$v_d = 4,43 \times \sqrt{\frac{P_v}{\rho_a}} \Rightarrow P_v = \left(\frac{v_d}{4,43}\right)^2 \quad [\text{Ec.10}]$$

v_d = Velocidad en el ducto(m/s)

P_v = Presión de velocidad de la corriente de aire(mmH2O)

ρ_a = Densidad del aire(kg/m³)

Al despejar de la Ec.9 la presión de velocidad se tiene:

$$P_v = \left(\frac{19\text{m/s}}{4,43}\right)^2 \times 0,928\text{kg/m}^3 = 17,0705\text{mmH2O}$$

$$P_v = 17,0705\text{mmH2O}$$

Al tener el valor de la presión de velocidad en los ductos, se calculan las pérdidas en los accesorios al multiplicarla por los coeficientes de pérdidas por fricción obtenidos de Tablas13, 14, 15,16 y 17. Por lo tanto aplicando la Ec.8 se obtiene:

- Entradas a 90°

Dentro del sistema hay tres entradas las cuales unen a los ductos con las campanas de captación, por lo que al realizar la relación de áreas y caudales se puede obtener un coeficiente de fricción de la Tabla 13.

$$A_{s1}/A_{c2} = 0,5, A_{b1}/A_{c2} = 0,5, Q_1/Q_2 = 0,5, \text{ el valor de } n = 0,75$$

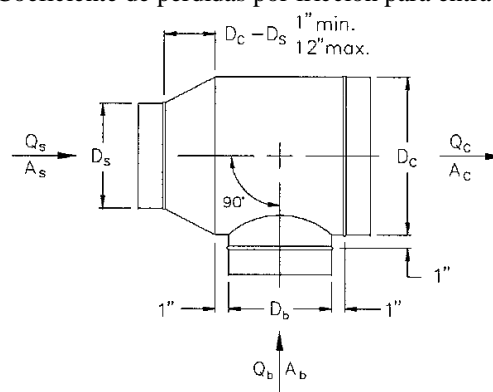
$$A_{s2}/A_{c3} = 0,66 \approx 0,7, A_{b1}/A_{c3} = 0,33, Q_1/Q_3 = 0,33, \text{ el valor de } n = 0,35$$

$$A_{s3}/A_{c4} = 0,74 \approx 0,7, A_{b1}/A_{c4} = 0,33, Q_1/Q_4 = 0,25, \text{ el valor de } n = 0,35$$

$$\begin{aligned} h_{f1} &= (0,75)x(17,0705mmH2O) + (2)x(0,35)x(17,0705mmH2O) \\ &= 24,75mmH2O \end{aligned}$$

$$h_{f1} = 24,75x \frac{pulg}{25,4mm} = 0,974pulgH2O$$

Tabla 13. Coeficiente de pérdidas por fricción para entradas


 EDS-3, $D_c > 10$ in., Converging

		C_D Values								
		Q_b/Q_c								
A_s/A_c	A_b/A_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	0.1	-13.86	-1.90	0.03	0.61	0.83	0.92	0.96	0.98	0.98
	0.2	-58.25	-10.48	-2.80	-0.51	0.36	0.74	0.90	0.96	0.96
	0.3	-132.23	-24.75	-7.50	-2.36	-0.39	0.45	0.82	0.96	0.96
	0.4	-235.84	-44.74	-14.07	-4.93	-1.43	0.07	0.73	0.98	0.99
	0.5	-369.15	-70.45	-22.51	-8.23	-2.76	-0.42	0.61	1.01	1.05
	0.6	-532.21	-101.89	-32.83	-12.26	-4.38	-1.00	0.48	1.06	1.13
	0.7	-725.06	-139.08	-45.04	-17.02	-6.30	-1.70	0.33	1.13	1.24
	0.8	-947.77	-182.03	-59.15	-22.53	-8.52	-2.50	0.16	1.22	1.38
	0.9	-1200.	-230.76	-75.15	-28.78	-11.03	-3.40	-0.03	1.32	1.55
	1.0	-1483.	-285.27	-93.06	-35.78	-13.84	-4.41	-0.25	1.43	1.75
0.2	0.1	-5.86	-0.35	0.54	0.81	0.91	0.95	0.97	0.97	0.96
	0.2	-26.08	-4.19	-0.70	0.33	0.71	0.87	0.93	0.95	0.93
	0.3	-59.71	-10.53	-2.72	-0.43	0.43	0.78	0.91	0.95	0.91
	0.4	-106.78	-19.39	-5.53	-1.46	0.05	0.67	0.91	0.97	0.91
	0.5	-167.36	-30.77	-9.12	-2.78	-0.42	0.55	0.93	1.02	0.93
	0.6	-241.50	-44.68	-13.50	-4.37	-0.97	0.42	0.96	1.10	0.98
	0.7	-329.25	-61.15	-18.68	-6.25	-1.62	0.27	1.02	1.21	1.06
	0.8	-430.67	-80.18	-24.67	-8.42	-2.37	0.10	1.09	1.35	1.17
	0.9	-545.81	-101.78	-31.47	-10.89	-3.22	-0.08	1.17	1.52	1.31
	1.0	-674.72	-125.98	-39.08	-13.64	-4.17	-0.28	1.28	1.72	1.48
0.3	0.1	-3.26	0.15	0.70	0.86	0.93	0.96	0.97	0.97	0.95
	0.2	-15.50	-2.16	-0.04	0.58	0.81	0.90	0.93	0.94	0.91
	0.3	-35.76	-5.90	-1.20	0.16	0.66	0.85	0.92	0.92	0.88
	0.4	-64.09	-11.09	-2.78	-0.38	0.48	0.82	0.93	0.94	0.86
	0.5	-100.54	-17.73	-4.78	-1.06	0.29	0.80	0.97	0.98	0.87
	0.6	-145.16	-25.85	-7.21	-1.86	0.06	0.80	1.05	1.05	0.90
	0.7	-198.01	-35.46	-10.08	-2.81	-0.19	0.82	1.15	1.16	0.96
	0.8	-259.13	-46.56	-13.39	-3.89	-0.47	0.85	1.28	1.30	1.05
	0.9	-328.59	-59.18	-17.15	-5.11	-0.78	0.89	1.44	1.47	1.17
	1.0	-406.44	-73.33	-21.37	-6.48	-1.12	0.94	1.63	1.68	1.32
0.4	0.1	-1.99	0.38	0.77	0.89	0.94	0.96	0.97	0.97	0.95
	0.2	-10.31	-1.18	0.26	0.69	0.84	0.91	0.93	0.93	0.90
	0.3	-23.96	-3.65	-0.48	0.43	0.75	0.88	0.91	0.91	0.86
	0.4	-42.98	-7.03	-1.46	0.11	0.67	0.87	0.93	0.91	0.84
	0.5	-67.44	-11.35	-2.69	-0.26	0.59	0.90	0.97	0.94	0.84
	0.6	-97.39	-16.60	-4.17	-0.69	0.52	0.95	1.06	1.01	0.87
	0.7	-132.88	-22.81	-5.91	-1.17	0.46	1.03	1.17	1.11	0.92
	0.8	-173.96	-29.99	-7.90	-1.73	0.40	1.15	1.33	1.24	1.00
	0.9	-220.69	-38.15	-10.16	-2.35	0.35	1.29	1.51	1.40	1.11
	1.0	-273.12	-47.31	-12.70	-3.04	0.29	1.45	1.74	1.61	1.26
0.5	0.1	-1.26	0.51	0.81	0.90	0.94	0.96	0.97	0.96	0.95
	0.2	-7.26	-0.62	0.43	0.75	0.86	0.91	0.93	0.93	0.90
	0.3	-16.99	-2.35	-0.07	0.57	0.80	0.89	0.91	0.90	0.87
	0.4	-30.49	-4.67	-0.72	0.38	0.76	0.89	0.92	0.90	0.85
	0.5	-47.82	-7.61	-1.50	0.19	0.75	0.93	0.97	0.93	0.85
	0.6	-69.03	-11.17	-2.42	-0.03	0.76	1.01	1.05	0.98	0.88
	0.7	-94.17	-15.37	-3.49	-0.26	0.80	1.13	1.17	1.07	0.93
	0.8	-123.30	-20.22	-4.71	-0.50	0.87	1.29	1.33	1.20	1.02
	0.9	-156.48	-25.73	-6.09	-0.77	0.96	1.48	1.53	1.36	1.13
	1.0	-193.74	-31.92	-7.63	-1.07	1.06	1.71	1.77	1.56	1.28

ED5-3, $D_c > 10$ in., Converging (Continued)

		C_p Values (Continued)								
		Q_b/Q_c								
A_5/A_c	A_b/A_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.7	0.1	-0.47	0.65	0.85	0.92	0.95	0.96	0.97	0.97	0.96
	0.2	-3.90	-0.03	0.61	0.81	0.89	0.92	0.94	0.94	0.93
	0.3	-9.25	-0.94	0.35	0.72	0.85	0.90	0.92	0.92	0.92
	0.4	-16.54	-2.10	0.07	0.66	0.85	0.91	0.93	0.92	0.92
	0.5	-25.85	-3.51	-0.22	0.64	0.90	0.97	0.97	0.94	0.95
	0.6	-37.21	-5.18	-0.54	0.65	1.00	1.07	1.05	1.00	1.00
	0.7	-50.68	-7.13	-0.87	0.70	1.14	1.22	1.17	1.08	1.08
	0.8	-66.31	-9.37	-1.24	0.78	1.33	1.41	1.33	1.21	1.20
	0.9	-84.17	-11.92	-1.64	0.89	1.56	1.65	1.53	1.36	1.34
	1.0	-104.29	-14.78	-2.09	1.03	1.84	1.94	1.78	1.56	1.52
0.8	0.1	-0.23	0.69	0.87	0.93	0.95	0.97	0.97	0.98	0.97
	0.2	-2.90	0.15	0.67	0.83	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96
	0.3	-6.91	-0.53	0.47	0.76	0.87	0.91	0.93	0.94	0.96
	0.4	-12.31	-1.34	0.30	0.74	0.88	0.93	0.94	0.95	0.98
	0.5	-19.16	-2.29	0.15	0.77	0.94	0.99	0.98	0.98	1.03
	0.6	-27.50	-3.39	0.01	0.84	1.06	1.09	1.06	1.03	1.11
	0.7	-37.38	-4.66	-0.11	0.97	1.23	1.24	1.18	1.12	1.21
	0.8	-48.87	-6.11	-0.22	1.15	1.46	1.45	1.35	1.25	1.35
	0.9	-62.01	-7.75	-0.33	1.37	1.73	1.70	1.55	1.41	1.52
	1.0	-76.85	-9.59	-0.44	1.63	2.06	2.00	1.80	1.61	1.73
0.9	0.1	-0.05	0.72	0.88	0.93	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99
	0.2	-2.14	0.28	0.71	0.85	0.91	0.94	0.96	0.97	0.99
	0.3	-5.14	-0.21	0.57	0.80	0.88	0.92	0.95	0.97	1.02
	0.4	-9.09	-0.76	0.47	0.80	0.91	0.94	0.96	0.98	1.06
	0.5	-14.06	-1.36	0.42	0.86	0.98	1.01	1.01	1.02	1.14
	0.6	-20.08	-2.04	0.42	0.99	1.11	1.12	1.09	1.09	1.24
	0.7	-27.21	-2.79	0.47	1.17	1.30	1.27	1.21	1.19	1.38
	0.8	-35.50	-3.63	0.55	1.42	1.55	1.49	1.38	1.32	1.55
	0.9	-45.01	-4.57	0.66	1.72	1.86	1.75	1.59	1.49	1.75
	1.0	-55.79	-5.64	0.80	2.08	2.22	2.06	1.84	1.69	1.99
1.0	0.1	0.09	0.75	0.89	0.94	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01
	0.2	-1.54	0.39	0.74	0.87	0.92	0.95	0.97	0.99	1.03
	0.3	-3.75	0.03	0.64	0.83	0.90	0.94	0.97	1.00	1.08
	0.4	-6.57	-0.32	0.61	0.85	0.93	0.97	0.99	1.03	1.16
	0.5	-10.05	-0.65	0.64	0.94	1.02	1.03	1.04	1.08	1.26
	0.6	-14.24	-0.98	0.74	1.10	1.16	1.15	1.13	1.16	1.40
	0.7	-19.20	-1.32	0.91	1.33	1.37	1.31	1.26	1.27	1.57
	0.8	-24.98	-1.69	1.14	1.63	1.63	1.53	1.43	1.41	1.78
	0.9	-31.62	-2.10	1.42	2.00	1.96	1.80	1.64	1.59	2.02
	1.0	-39.19	-2.55	1.76	2.43	2.35	2.12	1.90	1.81	2.30

Fuente: ASHRAE Handbook—Fundamentals (2009).

- *Transición entre ductos a 15°*

Dentro del sistema hay tres transiciones que ayudan a unir los ductos debido al aumento de caudal, manteniendo la velocidad constante, las cuales serán dimensionadas con un ángulo de 15° respecto al eje central que dan un total de 30°, tomando el coeficiente de pérdida de a la Tabla 14.

$$A_1/A_2 = 0,5, \theta = 30^\circ \text{ el valor de } n = 0,32$$

$$A_2/A_3 = 0,66 \approx 1, \theta = 30^\circ \text{ el valor de } n = 0$$

$$A_3/A_4 = 0,74 \approx 1, \theta = 30^\circ \text{ el valor de } n = 0$$

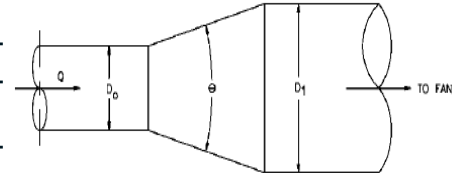
$$h_{f2} = (0,32) \times (17,0705 \text{ mmH}_2\text{O}) + 0 + 0 = 5,46 \text{ mmH}_2\text{O} \times \frac{\text{pulg}}{25,4 \text{ mm}}$$

$$h_{f2} = 0,215 \text{ pulgH}_2\text{O}$$

Tabla 14. Coeficiente de pérdidas por fricción para transiciones entre conductos

ED4-1 Transition, Round to Round, Exhaust/Return Systems

A_0/A_1	C_θ Values													
	θ													
	0	3	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	
0.063	0.0	0.18	0.18	0.20	0.29	0.38	0.60	0.84	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	
0.10	0.0	0.20	0.18	0.20	0.27	0.38	0.59	0.76	0.80	0.83	0.84	0.83	0.83	
0.167	0.0	0.18	0.17	0.18	0.25	0.33	0.48	0.66	0.77	0.74	0.73	0.73	0.72	
0.25	0.0	0.20	0.17	0.16	0.21	0.30	0.46	0.61	0.68	0.64	0.63	0.62	0.62	
0.50	0.0	0.15	0.13	0.11	0.13	0.19	0.32	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	
1.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2.00	0.0	0.30	0.26	0.21	0.19	0.19	0.19	0.23	0.27	0.51	0.73	0.90	0.95	
4.00	0.0	1.60	1.14	0.75	0.70	0.70	0.70	0.90	1.09	2.78	4.29	5.63	6.53	
6.00	0.0	3.89	3.02	1.73	1.58	1.58	1.58	2.12	2.66	6.62	10.01	13.03	15.12	
10.00	0.0	11.80	9.30	5.30	5.00	5.00	5.00	6.45	7.90	19.00	28.50	36.70	42.70	



Fuente: ASHRAE Handbook—Fundamentals (2009).

- *Transición del ducto al ciclón a 15°*

Ya que los ductos son circulares y la entrada del ciclón es rectangular es necesario colocar una transición que ayude en este cambio de forma, por motivos de cálculo se toma un diámetro equivalente del ducto rectangular que es de $800 \times 400 \text{ mm} = 31 \times 16 \text{ pulg}$ de la Tabla 15 que es de $D_{eq} = 24 \text{ pulg} = 609 \text{ mm}$, entonces de acuerdo a la Tabla 14 se toma el coeficiente de fricción.

$$A_4/A_{eq} = 2,12 \approx 2, \theta = 30^\circ \text{ el valor de } n = 0,19$$

$$h_{f3} = (0,19) \times (17,0705 \text{ mmH}_2\text{O}) = 3,24 \text{ mmH}_2\text{O} \times \frac{\text{pulg}}{25,4 \text{ mm}}$$

$$h_{f3} = 0,127 \text{ pulgH}_2\text{O}$$

Tabla 15. Diámetros equivalentes de conductos rectangulares

Circular Duct Diameter, in.	Length of One Side of Rectangular Duct <i>a</i> , in.																			
	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
	Length Adjacent Side of Rectangular Duct <i>b</i> , in.																			
5	5																			
5.5	6	5																		
6	8	6																		
6.5	9	7	6																	
7	11	8	7																	
7.5	13	10	8	7																
8	15	11	9	8																
8.5	17	13	10	9																
9	20	15	12	10	8															
9.5	22	17	13	11	9															
10	25	19	15	12	10	9														
10.5	29	21	16	14	12	10														
11	32	23	18	15	13	11	10													
11.5		26	20	17	14	12	11													
12		29	22	18	15	13	12													
12.5		32	24	20	17	15	13													
13		35	27	22	18	16	14	12												
13.5		38	29	24	20	17	15	13												
14			32	26	22	19	17	14												
14.5			35	28	24	20	18	15												
15			38	30	25	22	19	16	14											
16			45	36	30	25	22	18	15											
17				41	34	29	25	20	17	16										
18				47	39	33	29	23	19	17										
19				54	44	38	33	26	22	19	18									
20					50	43	37	29	24	21	19									
21					57	48	41	33	27	23	20									
22					64	54	46	36	30	26	23	20								
23						60	51	40	33	28	25	22								
24						66	57	44	36	31	27	24	22							
25							63	49	40	34	29	26	24							
26							69	54	44	37	32	28	26	24						
27							76	59	48	40	35	31	28	25						
28								64	52	43	38	33	30	27	26					
29								70	56	47	41	36	32	29	27					
30								76	61	51	44	39	35	31	29	28				
31								82	66	55	47	41	37	34	31	29				
32								89	71	59	51	44	40	36	33	31				
33								96	76	64	54	48	42	38	35	33	30			

Fuente: ASHRAE Handbook—Fundamentals (2009).

- *Codos de 90°*

Dentro del sistema hay tres codos de aproximadamente 30pulg y una entrada en la primera campana q se la considerara como un codo más debido que hay un único caudal y no se puede calcular por medio de la Tabla 13, y por facilidad de construcción se los realizará en cinco partes como se observa en la Tabla16.

$r/D = 2$, es un valor cercano a 1,5 y $D = 30pulg$, el valor de $n = 0,12$

$r/D = 2$ y $D = 18pulg$ (entrada tomada como codo), el valor de $n = 0,15$

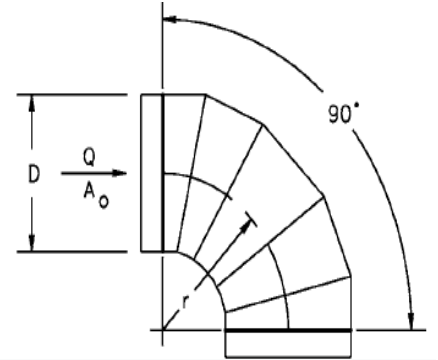
$$h_{f4} = (0,12)x(4)x(17,0705mmH2O) + (0,15)x(17,0705mmH2O)$$

$$h_{f4} = 8,7mmH2O \times \frac{pulg}{25,4mm} = 0,342 pulgH2O$$

Tabla 16. Coeficiente de pérdidas por fricción para codos de 90°

CD3-9 Elbow, 5 Gore, 90 Degree, $r/D = 1.5$

D, in.	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	60
C_o	0.51	0.28	0.21	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12



Fuente: ASHRAE Handbook—Fundamentals (2009).

Para obtener las pérdidas totales por fricción dentro del sistema se debe sumar tanto las pérdidas por rozamiento como las de los accesorios, por lo tanto:

$$ht = hL_1 + hL_2 + hL_3 + hL_4 + hL_5 + h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} + h_{f4}$$

$$ht = (0,063 + 0,044 + 0,035 + 0,113 + 0,157 + 0,974 + 0,215 + 0,127 + 0,423)pulgH2O$$

$$ht = 2,15 pulgH2O$$

3.3. Cálculo del ciclón

Un dispositivo separador de aire adecuado siempre debería ser parte de un sistema de extracción, por lo tanto en el presente trabajo se ha implementado un separador centrífugo conocido como ciclón, cuya función es la de recoger el contaminante del aire antes que este regrese a la atmósfera.

Son de uso común en la industria, los cuales se aplican cuando se trata de separar partículas con diámetros mayores a 5 μm con una alta eficiencia, los ciclones se diseñan a una velocidad de entrada dentro del intervalo de 15,2 a 27,4 m/s, por consiguiente, se suelen diseñar para una velocidad de entrada 22 m/s, aunque no es necesario apegarse estrictamente a este valor. Los caudales típicos para unidades de un solo ciclón son de 0,5 a 12 m^3/s .

3.3.1. Dimensionamiento del ciclón

Los ciclones se calculan en base a la capacidad de manejo de aire, según la expresión:

$$Q = K \times Dc^2 \Rightarrow Dc = \sqrt{\frac{Q}{K}} \quad [\text{Ec.11}]$$

Q = Caudal de aire a extraer (pie^3/min)

K = Constante, depende de la forma de entrada al ciclón

Dc = Diámetro del cuerpo del ciclón (pie)

Los valores de k son:

Entrada normal $K : 300$

Entrada de caracol $K : 900$

Se elige el tipo caracol porque se puede manejar mayor caudal entonces:

$$Dc = \sqrt{\frac{\frac{42304,5\text{m}^3}{h} \times \frac{(3,28\text{pies})^3}{60\text{min}}}{900}}$$

$$Dc = \sqrt{\frac{24380,3707 \text{ pies}^3/\text{min}}{900}}$$

$$Dc = 5,257 \text{ pies} = 1,60 \text{ m}$$

Una vez obtenido Dc se puede dimensionar el ciclón como se observa en la Fig.31, por medio de las siguientes relaciones:

$$h = 2 \times Dc \Rightarrow h = 2 \times 1,6 \text{ m} = 3,2 \text{ m}$$

$$S = \frac{Dc}{2} \Rightarrow \frac{1,6 \text{ m}}{2} = 0,80 \text{ m}$$

$$Z = 2 \times Dc \Rightarrow 2 \times 1,6\text{m} = 3,2 \text{ m}$$

$$B = \frac{Dc}{4} \Rightarrow \frac{1,6 \text{ m}}{4} = 0,40 \text{ m}$$

$$a = \frac{Dc}{2} \Rightarrow \frac{1,6 \text{ m}}{2} = 0,80 \text{ m}$$

$$De = \frac{Dc}{2} \Rightarrow \frac{1,6\text{ m}}{2} = 0,80\text{ m}$$

$$b = \frac{Dc}{4} \Rightarrow \frac{1,6\text{ m}}{4} = 0,40\text{ m}$$

$$H = 3,2\text{ m} + 3,2\text{ m} = 6,4\text{ m}$$

$$x_c = \frac{Dc}{5} = \frac{1,6\text{ m}}{5} = 0,32\text{ m}$$

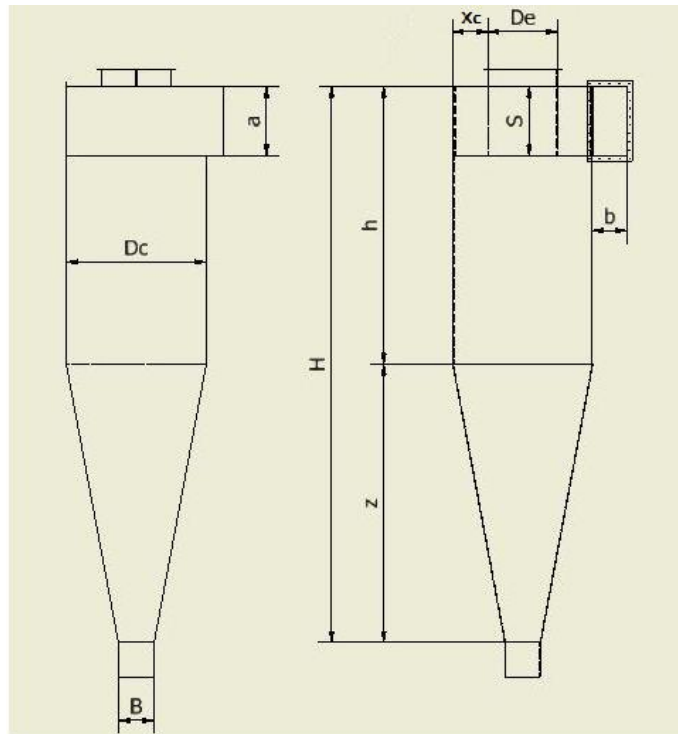


Fig.31. Dimensiones del ciclón

Fuente: Autores

La entrada del ciclón se la realizará de tal manera que forme un ángulo de 10°a 15° debido a que se trata de una transición como se muestra en la Fig. 32.

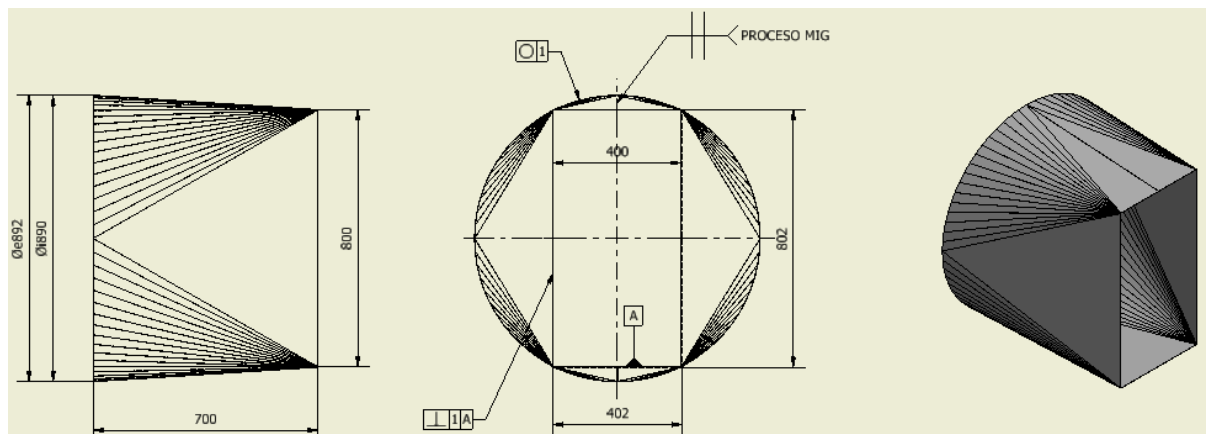


Fig.32. Entrada del ciclón

Fuente: Autores

3.3.2. Caída de presión

La caída de presión es un parámetro importante ya que se relaciona directamente los costos de operación. La caída de presión en un ciclón puede deberse a las pérdidas a la entrada y salida, y pérdidas de energía cinética y fricción en el ciclón. Por tanto la caída de presión se calcula por medio de la Ec.11.

$$\Delta P = \frac{1}{2} \times \rho_a \times v_d^2 \times N_H \quad [\text{Ec.12}]$$

ΔP = Pérdida de presión en el ciclón (Pa)

ρ_a = Densidad del aire (kg/m³)

v_d = Velocidad de entrada del aire en el ciclón (m/s)

N_H = Número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón

Debido a que el N_H es un factor dentro de la ecuación de la caída de presión y se define como la relación entre el área de entrada para el diámetro de salida del ciclón al cuadrado multiplicado por una constante que para familia de ciclón es diferente, se puede calcular por medio de la Ec.12:

$$N_H = k \times \frac{a \times b}{De^2} \quad [\text{Ec.13}]$$

k = Constante, toma el valor de 16 para entrada tangencial del aire

Al reemplazar valores en la Ec.12 se obtiene:

$$N_H = 16 \times \frac{0,80m \times 0,40m}{(0,80m)^2}$$

$$N_H = 8$$

Por tanto la caída de presión en el ciclón al aplicar la Ec.11 es de:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \times 0,928kg/m^3 \times (19m/s)^2 \times 8$$

$$\Delta P = 1340,03 Pa \times \frac{4,01 \times 10^{-3} pulgH2O}{Pa} = 5,375 pulgH2O$$

3.3.3. Velocidad de saltación

En los ciclones, la velocidad de entrada es un parámetro fundamental, velocidades muy bajas permiten la sedimentación de partículas y neutralizan el efecto de la fuerza centrífuga generando disminución en la eficiencia de colección; velocidades muy altas pueden resuspender partículas previamente colectadas, disminuyendo también la eficiencia.

Kalen y Zenz (1974) propusieron la existencia de una "velocidad de saltación" en el ciclón para explicar por qué la eficiencia de colección algunas veces descendía con incrementos en la velocidad de entrada. De esto se puede afirmar que lo ideal es trabajar con velocidades de entrada lo suficientemente altas para aprovechar el efecto de la aceleración centrífuga, sin sobrepasar la velocidad que implica resuspensión del material ya colectado. La correlación semiempírica para la velocidad de saltación es (Carlos Alberto Echeverri Londoño, 2006):

$$v_s = \frac{4,913 \times W \times Kb^{0,4} \times Dc^{0,0067} \times \sqrt[3]{v_d^2}}{\sqrt[3]{1-Kb}} \quad [\text{Ec.14}]$$

v_s = Velocidad de saltación(m/s)

v_d = Velocidad de entrada del aire en el ciclón (m/s)

W = Velocidad equivalente(m/s)

Para evitar que el aire que se escapa del ciclón arrastre partículas, es necesario que se cumpla la relación:

$$\frac{v_d}{v_s} \leq 1,37$$

Es necesario calcular la velocidad de saltación para comprobar esta relación, para lo cual se usa la relación entre la base de entrada y el diámetro del ciclón Kb que está dada por la Ec.14.

$$Kb = \frac{b}{Dc} \quad [\text{Ec.15}]$$

Al reemplazar valores en la Ec.14 se obtiene:

$$Kb = \frac{0,40m}{1,60m} = 0,25$$

Otro factor importante dentro de la velocidad de saltación es la velocidad equivalente la cual se evalúa a través de la Ec.15:

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 \times g \times \eta_a \times (\rho_p - \rho_a)}{3 \times \rho^2}} \quad [\text{Ec.16}]$$

$\rho_p = \text{Densidad de la partícula} (\text{Kg/m}^3)$

$\rho_a = \text{Densidad del aire} (\text{Kg/m}^3)$

$\eta_a = \text{Viscosidad dinámica del aire} (\text{Kg/m.s})$

Debido a que la densidad de la partícula es un factor dentro de la velocidad equivalente, se toma el valor más alto entre las pinturas utilizadas en proceso dentro de la cabina que es de $2,1 \text{ gr/m}^3$ como se observa en la Tabla 17. Entonces al aplicar la Ec.15 con los siguientes datos se obtiene:

$$\rho_p = 2,1 \text{ gr/m}^3 = 2100 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta_a = 1,8 \times 10^{-5} \text{ Kg/m.s}$$

$$\rho_a = 0,928 \text{ kg/m}^3$$

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1,81 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m.s}} \times (2100 - 0,928) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3 \times \left(0,928 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)^2}}$$

$$W = 0,83 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Tabla 17. Densidad de partículas de pintura

Tipo de Pintura	Densidad (gr/cm ³)	Tipo de recubrimiento
Sigmafast 302	1,40	Primer
Sigmafuard 730	2,10	Capa intermedia
Sigmadur 550	1,30	Recubrimiento

Fuente: Autores.

Por lo tanto la velocidad de saltación es función de las propiedades de las partículas, del fluido, así como de las dimensiones del ciclón y la velocidad de entrada al mismo que en este caso es de 19 m/s . Por lo tanto al reemplazar en la Ec.13 se obtiene:

$$v_s = \frac{4,913 \times 0,83 \frac{m}{s} \times 0,25^{0,4} \times (1,6 \text{ m})^{0,067} \times \sqrt[3]{(19 \text{ m/s})^2}}{\sqrt[3]{1 - 0,25}}$$

$$v_s = 22,1 \frac{m}{s}$$

Al cumplir la relación de velocidades se verifica que no existe resuspensión de material particulado.

$$\begin{aligned} \frac{v_d}{v_s} &< 1,35 \\ \frac{19}{22,1} &< 1,35 \\ 0,86 &< 1,35 \end{aligned}$$

3.3.4. Número de giros

Este factor nos dice el número de vueltas que dará el material particulado dentro del ciclón. El número de giros o vórtices puede ser estimado de las dimensiones del ciclón, debido a que estos dependen de la altura de cada uno de los vórtices y la longitud del ciclón, y se lo calcula con la Ec.17:

$$N_G = \frac{1}{a} \times \left[h + \frac{z}{2} \right] \quad [\text{Ec.17}]$$

Entonces:

$$N_G = \frac{1}{0,80 \text{ m}} \times \left[3,2 \text{ m} + \frac{3,2 \text{ m}}{2} \right]$$

$$N_G = 6 \text{ vueltas}$$

3.3.5. Eficiencia fraccional por intervalos de tamaño

Asumiendo un flujo mezclado, como en este caso ya que el aire contiene partículas de pintura, la expresión que relaciona la eficiencia de remoción con los parámetros del ciclón y las condiciones de operación es:

$$\eta_i = 1 - e^{\left[-2 \times \left(\frac{G \times T_i \times Q \times (n+1)}{Dc^3} \right)^{\frac{0,5}{n+1}} \right]} \quad [\text{Ec.18}]$$

η_i = Eficiencia fraccional por intervalo de tamaño

$G =$ Factor de configuración del ciclón

$Q =$ Caudal del aire (m^3/s)

$T_i =$ Tiempo de relajación (seg)

$D_c =$ Diámetro del ciclón(m)

$n =$ Exponente del vórtice del ciclón

Por lo tanto se necesita calcular cada uno de estos parámetros:

Factor de configuración

El factor de configuración resulta de relacionar algunas proporciones normalizadas por el diámetro del ciclón por medio de la siguiente ecuación:

$$G = \frac{8 K_c}{(K_a \times K_b)^2} \quad [\text{Ec.19}]$$

$K_c =$ Factor dimensional de las proporciones volumétricas del ciclón

$K_a =$ Relación entre la altura de la entrada y el diámetro del ciclón

$K_b =$ Relación entre el ancho de la entrada y el diámetro del ciclón

Para obtener K_c se debe obtener los siguientes factores:

$$K_c = \frac{(V_{sc} + \frac{V_r}{2})}{D_c^3} \quad [\text{Ec.20}]$$

V_{sc} : Volumen del ciclón evaluado sobre la salida

$$V_{sc} = \frac{\pi}{4} \times \left(S - \frac{a}{2}\right) \times (D_c^2 - D_e^2)$$

$$V_{sc} = \frac{\pi}{4} \times \left(0,8m - \frac{0,8m}{2}\right) \times (1,6^2 - 0,8^2)m^2 = 0,6 m^3$$

$$V_{sc} = 0,6 m^3$$

L_n : Longitud natural del ciclón

$$L_n = 2,3 \times D_e \times \sqrt[3]{\frac{D_c^2}{a \times b}}$$

$$Ln = 2,3 \times 0,80 \, m \times \sqrt[3]{\frac{1,6^2}{0,80 \times 0,40}}$$

$$Ln = 3,68 \, m$$

Debe cumplirse la siguiente relación:

$$Ln < H - S$$

$$3,68 < 6,4 - 0,80$$

$$3,68 \, m < 5,6 \, m$$

$Kl = \text{Factor de dimensiones lineales}$

$$Kl = Dc - (Dc - B)x \left[\frac{S + Ln - h}{z} \right]$$

$$Kl = 1,6m - (1,6m - 0,4m)x \left[\frac{0,8m + 3,68m - 3,2m}{3,2m} \right]$$

$$Kl = 1,12 \, m$$

Con los valores de Ln y Kl se obtiene Vr:

Vr : Volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural

$$Vr = \frac{\pi}{4} \times Dc^2 \times (h - S) + \frac{\pi}{12} \times Dc^2 \times (Ln + S - h)x \left[1 + \frac{Kl}{Dc} + \left(\frac{Kl}{Dc} \right)^2 \right] - \frac{\pi}{4} \times De^2 \times Ln$$

$$Vr = \frac{\pi}{4} \times 1,6^2 \times (3,2 - 0,8) + \frac{\pi}{12} \times 1,6^2 \times (3,68 + 0,8 - 3,2)x \left[1 + \frac{1,12}{1,6} + \left(\frac{1,12}{1,6} \right)^2 \right] - \frac{\pi}{4} \times 0,8^2 \times 3,68 =$$

$$Vr = 4,85 \, m^3$$

Al aplicar la Ec.20 se obtiene:

$$Kc = \frac{0,6m^3 + \frac{4,85m^3}{2}}{(1,6m)^3}$$

$$Kc = 0,74$$

Para obtener Ka se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$Ka = \frac{a}{Dc} \quad [\text{Ec.21}]$$

Al reemplazar en la Ec.21 se obtiene:

$$Ka = \frac{0,8m}{1,6m}$$

$$Ka = 0,5$$

Para obtener Kb se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$Kb = \frac{b}{Dc} \quad [\text{Ec.22}]$$

Al reemplazar en la Ec.22 se obtiene:

$$Kb = \frac{0,4m}{1,6m}$$

$$Kb = 0,25$$

Al reemplazar los valores obtenidos en la Ec.19 se tiene:

$$G = \frac{8 \times 0,74}{(0,5 \times 0,25)^2}$$

$$G = 378,88$$

Tiempo de relajación

El tiempo de relajación es el tiempo necesario para que una partícula alcance la velocidad terminal de caída, se evalúa con la siguiente ecuación:

$$Ti = \frac{\rho p \times Dpi^2}{18 \mu} \quad [\text{Ec.23}]$$

Para este caso se toma un valor promedio del tamaño de la partícula de 15 μm ($1,5 \times 10^{-5}\text{m}$) correspondiente a la niebla. Ver Tabla 1. Al aplicar la Ec.23 se obtiene:

$$Ti = \frac{2100\text{kg}/\text{m}^3 \times (1,5 \times 10^{-5}\text{m})^2}{18 \times (1,81 \times 10^{-5}\text{kg}/\text{m.s})}$$

$$Ti = 1,45 \times 10^{-3} \text{ seg}$$

Exponente de vórtice

El exponente del vórtice resulta de relacionar la velocidad tangencial y el radio de giro de un movimiento en forma de vórtice. Los análisis teóricos revelan que n debe ser igual a 1.0 en ausencia de fricción de pared (vórtice libre). No obstante, las mediciones reales señalan que n puede variar de 0,5 a 0,7 de acuerdo con el tamaño del ciclón y la temperatura (Echeverri Londoño Carlos Alberto, 2006) por medio de la Ec.24:

$$n = 1 - (1 - 0,67 \times Dc^{0,14}) \times \left(\frac{Ta}{283} \right)^{0,3} \quad [\text{Ec.24}]$$

Al aplicar la Ec.24 se obtiene:

$$n = 1 - (1 - 0,67 \times (1,6m)^{0,14}) \times \left[\frac{293 \text{ } ^\circ K}{283} \right]^{0,3}$$

$$n = 0,71$$

Al reemplazar los valores en la Ec.18 se obtiene:

$$\eta i = 1 - e^{\left[-2 \times \left(\frac{378,88 \times 0,00145 \times 11,75 \times (0,71+1)}{1,6^3} \right)^{\frac{0,5}{0,71+1}} \right]}$$

$$\eta i = 0,93 = 93 \%$$

Las principales familias de ciclones de entrada tangencial son: ciclones de alta eficiencia, ciclones convencionales y ciclones de alta capacidad. Por lo general, el separador ciclónico se utiliza para eliminar partículas con tamaño de 10 μ m o mayor. Los ciclones convencionales rara vez remueven partículas con una eficiencia mayor del 90%, a menos que la partícula tenga un diámetro de 25 μ m o mayor como se observa en la Tabla18 (Herrera, B. y Valencia D., 2005, pág19).

Tabla 18. Eficiencias globales representativas de los ciclones

Tamaño de partícula (μm)	Ciclones convencionales (%)	Ciclones de alta eficiencia (%)
<5	<50	50-80
5-20	50-80	80-95
15-20	80-95	95-99
>40	95-99	95-99

Fuente: Desarrollo de las Actividades del Plan de Manejo Ambiental-Parte Aire-de la Trilladora San Mateo del Municipio de Chinchiná (2005).

Los márgenes de la eficiencia de remoción para los ciclones están con frecuencia basados en las tres familias de ciclones, debido que el tamaño de las partículas son de 10 a $20\mu\text{m}$ ya que es una niebla; se ha seleccionado un ciclón convencional ya que se encuentra dentro de los parámetros del ciclón de Lapple como se puede observar en la Tabla 19.

Tabla 19. Características de los ciclones convencionales

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón				
		Lapple	Swift	Peterson-Whitby	Zenz	Relaciones dimensionales de ciclón calculado
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1	1	1	1	1
Altura de entrada	a/Dc	0,5	0,5	0,583	0,5	0,5
Ancho de entrada	b/Dc	0,25	0,25	0,208	0,25	0,25
Altura de salida	S/Dc	0,625	0,6	0,583	0,75	0,5
Diámetro de salida	De/Dc	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	2	1,75	1,333	2	2
Altura parte cónica	z/Dc	2	2	1,837	2	2
Altura total del ciclón	H/Dc	4	3,75	3,17	4	4
Diámetro salida partículas	B/Dc	0,25	0,4	0,5	0,25	0,25
Factor de configuración	G	402,88	381,79	342,29	425,41	378,88
Número cabezas de velocidad	N _H	8	8	7,76	8	8
Número de giros	N _G	6	5,5	3,9	6	6

Fuente: Autores.

3.3.6. Eficiencia total

La eficiencia total se calcula realizando la sumatoria del producto de las eficiencias fraccionales por la masa fraccional.

$$\eta_T = \sum \eta_i \times m_i \quad [\text{Ec.25}]$$

η_T = Eficiencia total del ciclón (%)

n_i = Eficiencia fraccional por intervalos de tamaño

m_i = Porcentaje másico (%)

Tabla 20. Promedio ponderado de eficiencias fraccionarias

<i>Tamaño (μm)</i>	<i>mi (%)</i>	<i>Dp (μm)</i>	<i>Dp (m)</i>	<i>Ti (s)</i>	<i>ni</i>	<i>ni * mi</i>
0	2	1	1,00E-06	6,45E-06	0,04	0,04
2	4	3	3,00E-06	5,80E-05	0,26	2,32
4	6	5	5,00E-06	1,61E-04	0,51	5,10
6	10	8	8,00E-06	4,13E-04	0,80	11,16
10	18	14	1,40E-05	1,26E-03	0,98	29,53
18	30	24	2,40E-05	3,71E-03	1,00	30,00
30	50	40	4,00E-05	1,03E-02	1,00	5,00
50	100	75	7,50E-05	3,63E-02	1,00	1,00
<i>Eficiencia total</i>						84,14

Fuente: Autores.

La eficiencia total del ciclón es de 84,14%, lo que significa que 15,86 % de las partículas que ingresan al ciclón no es separado del aire. La eficiencia del colector se encuentra dentro de los rangos de colectores convencionales como se observa en la Tabla 20 y se puede verificar que se encuentra dentro del rango como se muestra en la Tabla 18.

3.4. Selección del ventilador

Para este caso se ha elegido un extractor centrífugo como se observa en la Fig.33, debido a que es mucho mejor que el axial, ya que está diseñado para soportar las pérdidas de carga producidas por fricción, accesorios, filtros etc. Este extractor ayuda a sacar el aire con material particulado al succionarlo por el centro del mismo, llevándolo hacia al ciclón que lo separará de las partículas de pintura, y luego forzando su salida a través de una cavidad cónica que empuja el aire hacia el exterior.

Un factor importante son las aplicaciones para las cuales se los usa como son, sistemas de ventilación, extracción, calefacción y acondicionamiento de aire, así

como para cámaras de pintura, secadores, manejo de humo, polvo, presurización en procesos industriales, etc.

3.4.1. Parámetros de selección

Al seleccionar un ventilador para una aplicación específica, en general, es posible seleccionar varios tipos y tamaños de ventiladores que son capaces de realizar el trabajo requerido. Por lo cual este debe satisfacer los siguientes parámetros:

- Caudal requerido (m^3/s , cfm, m^3/h , etc.)
- Presión o resistencia total del sistema (Pa, Pulg H₂O, etc)
- Ruta a recorrer por el aire (lineal u otra, dependiendo de esto un ventilador axial puede ser más útil que uno centrífugo)
- Eficiencia mínima del ventilador requerida
- Restricciones de tamaño o espacio
- Máximo nivel de ruido aceptable
- Temperatura del ambiente
- Aplicaciones especiales (extractor de humo, atmósferas corrosivas, ambientes explosivos, etc.)

3.4.2. Ventilador

Los parámetros con los cuales se selecciona un ventilador son caudal, presión o resistencia total del sistema que es la suma de las pérdidas en los ductos más la caída de presión en el ciclón y la aplicación que para este caso son los siguientes:

- $Q = 42304,5 m^3/h = 24899,5 CFM$
- $\Delta P_t = h_t + \Delta P = (2,15 + 5,38) \text{ pulg H}_2\text{O} = 7,5 \text{ pulg H}_2\text{O}$



Fig.33. Ventilador centrífugo IPA
Fuente: Industrial Process Fans Greenheck (2010).

Por lo tanto se ha seleccionado un ventilador centrífugo para procesos industriales que cumple con los requerimientos del sistema como se observa en el Anexo 1 y tiene las siguientes características:

Marca: Greenheck

Modelo: IPA

Caudal: 25000 CFM

Presión estática: 7,5 pulg H₂O

Velocidad del ventilador: 1791 rpm

Potencia del ventilador: 73 HP

Motor: 75 HP

Un accesorio importante que se debe tomar en cuenta son las llamadas conexiones flexibles o juntas de expansión como se observa en la Fig.34, las cuales deben utilizarse en la entrada y salida del ventilador para aislarlo de las cargas estáticas, cargas de expansión del ducto por temperatura y cargas por vibración. La misma que se seleccionará de acuerdo al diámetro de succión del ventilador que es donde ir acoplada. Ver Anexo 2.



Fig.34. Junta de expansión
Fuente: DISETEC Soluciones Industriales (2014).

3.4.3. Louvers

Se utilizan en varias aplicaciones de circulación de aire, sobre todo como toma y extracción de aire en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, por lo general son instalados en aberturas de paredes internas o externas. El marco estructural es de perfil acanalado y de varios anchos (2", 4" y 6"), lo q permite adaptarlos a diferentes construcciones como por ejemplo edificios de paredes delgadas, muros de acero estructural o mampostería. Ver Fig.35.

Las aletas de los louvers pueden ser fijas o móviles y son colocadas en ángulos de 30° o 45° lo que evita el ingreso de la lluvia, para este caso además se colocará filtros MERV 6 como se observa en el Anexo 3, que evitarán el ingreso de polvo que dañaría las estructuras mientras están en el proceso de pintura.



Fig.35. Louvers
Fuente: Louver Product Greenheck (2010).

Es necesario colocar louvers de toma de aire en las paredes de la cabina de pintura, lo que evitará que se genere una presión negativa dentro de la misma, ya que se está extrayendo en aire contenido en el lugar. Por lo que se hará ingresar la misma cantidad de aire por medio de los louvers para mantener una presión neutra.

Para este caso se implementaran dos louvers por lo cual se dividirá el caudal entre ellos, la velocidad recomendada por la AMCA (AIR MOVEMENT AND CONTROL ASSOCIATION INTERNATIONAL, INC) es de 1000 FPM= 5m/s que es una velocidad baja evitando que el ingreso de aire sea brusco.

$$Q_s = v_s \times A_s \Rightarrow A_s = \frac{Q_s}{v_s} \quad [\text{Ec.26}]$$

$Q_s = \text{Caudal de aire de suministro}(\text{CFM} - \text{pies}^3/\text{min})$

$v_s = \text{Velocidad de aire de suministro}(\text{FPM} - \text{pies}/\text{min})$

$A_L = \text{Área libre del louver}(\text{plg}^2)$

Al aplicar la Ec.26 se obtiene:

$$A_s = \frac{12500\text{CFM}}{1000\text{CFM}}$$

$$A_s = 12,5 \text{ plg}^2$$

Por lo tanto un área libre de 12,5 plg² da como resultado un louver de 72 plg x 48 plg como se observa en la Tabla 21.

Tabla 21. Área libre de louver

		Width - Inches														
		8	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
Height - Inches	12	0.24	0.40	0.65	0.90	1.14	1.39	1.63	1.88	2.13	2.37	2.62	2.86	3.11	3.36	3.60
	18	0.33	0.55	0.89	1.23	1.57	1.90	2.24	2.58	2.92	3.26	3.59	3.93	4.27	4.61	4.94
	24	0.47	0.80	1.28	1.77	2.25	2.74	3.22	3.71	4.19	4.68	5.16	5.65	6.13	6.62	7.10
	30	0.61	1.03	1.66	2.28	2.91	3.54	4.17	4.79	5.42	6.05	6.68	7.30	7.93	8.56	9.19
	36	0.78	1.32	2.12	2.92	3.72	4.53	5.33	6.13	6.93	7.74	8.54	9.34	10.14	10.94	11.75
	42	0.92	1.56	2.51	3.46	4.41	5.36	6.31	7.26	8.21	9.16	10.11	11.06	12.01	12.96	13.91
	48	1.06	1.79	2.88	3.98	5.07	6.16	7.25	8.34	9.44	10.53	11.62	12.71	13.80	14.90	15.99
	54	1.23	2.08	3.35	4.61	5.88	7.15	8.41	9.68	10.95	12.21	13.48	14.75	16.02	17.28	18.55
	60	1.38	2.32	3.73	5.15	6.56	7.98	9.39	10.81	12.22	13.64	15.05	16.46	17.88	19.29	20.71
	66	1.52	2.55	4.11	5.67	7.22	8.78	10.34	11.89	13.45	15.01	16.56	18.12	19.68	21.23	22.79

Fuente: AMCA (2011).

3.5. Cálculo estructural

3.5.1. Diseño de soportes del ciclón

Los soportes del ciclón se diseñarán conforme a lo especificado en el manual del *American Institute of Steel Construction* (AISC), mediante el método de diseño por factor de carga (*load and resistance factor design LRFD*)

Los manuales de construcción en acero del AISC han sido, tradicionalmente, las herramientas disponibles más completas para el diseño, fabricación y montaje de estructuras de acero, las cuales están en permanente actualización, e incorporan resultados de investigación teóricos, experimentales y prácticos, que reflejan los avances tecnológicos en el campo de las estructuras metálicas, por lo que su gran contenido técnico permite aplicarlas de manera rápida.

Para el diseño de los soportes del ciclón se obtendrán las cargas verticales y horizontales que inciden en el mismo como se observa en la Fig.36.

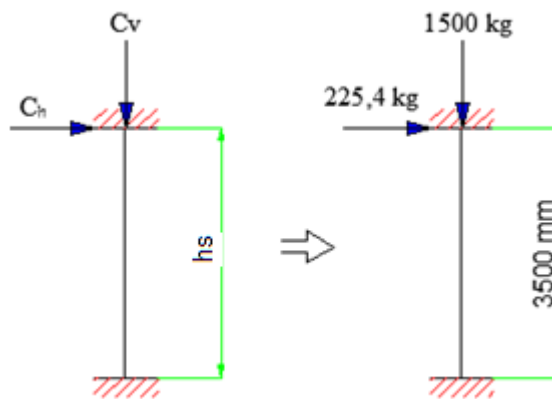


Fig.36. Cargas horizontales y verticales
Fuente: Autores

- **Cargas verticales (C_v)**

Las cargas verticales son aquellas que tienen la misma dirección de la gravedad, afectando los soportes por compresión, en este caso esa fuerza es el peso del ciclón, que se deberá dividir para el número de soportes de su base.

$$C_v = \frac{P}{3} \quad [\text{Ec.27}]$$

P = Peso del ciclón

C_v = Cargas verticales

Por lo tanto, al aplicar la Ec.27 se obtiene:

$$C_V = \frac{1500 \text{ kgf}}{3}$$

$$C_V = 500 \text{ kgf}$$

- **Cargas horizontales (C_H)**

Las cargas horizontales, son aquellas que inciden de forma lateral en la estructura del ciclón, las mismas que pueden causar un volteo o volcamiento de la estructura, se tomará en cuenta las cargas producidas por el viento y por sismo.

$$C_H = C. viento + C. sismo \quad [\text{Ec.28}]$$

Se debe obtener la carga por viento y por sismo, ya que al sumarlas nos dan las cargas horizontales a las que estará sometida la estructura.

$$C. viento = 0,002558 \times C_S \times V^2 \quad [\text{Ec.29}]$$

$C_S =$ Coeficiente de fricción es 1,3

$v_v =$ Velocidad del viento (millas / hora)

La velocidad promedio en la ciudad de Quito es de 8km/h por tanto:

$$v_v = 8 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{0,6213 \text{ millas}}{1 \text{ km}} = 4,97 \frac{\text{millas}}{\text{h}}$$

Al reemplazar en la Ec.29 se obtiene:

$$C. viento = 0,002558 \times 1,3 \times (4,97 \text{ millas/h})^2$$

$$C. viento = 0,082 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^2} = 0,4 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

El área de incidencia en el ciclón está dada por la altura y la mitad de su diámetro como se observa en la Fig.37, con la cual se obtendrá la carga por viento.



Fig.37. Área de incidencia
Fuente: Autores

$$H_t = \text{Altura total de la estructura} = 7,341 \text{ m}$$

$$D_c/2 = \text{Ancho de la estructura} = 0,8 \text{ m}$$

$$C. \text{ viento} = 0,4 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \times 7,341 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$$

$$C. \text{ viento} = 2,35 \text{ kgf}$$

- **Cargas por sismo (C_s)**

Se debe tomar en cuenta que el sistema va a funcionar en Quito, que se encuentra en la zona sísmica 4 por lo que se tomara el 15% de P, la cual será dividida para tres soportes aplicado en la parte más alta del ciclón obteniendo un momento de volteo.

$$C_s = 15\% \times P \quad [\text{Ec.30}]$$

Entonces, al aplicar la Ec.30 se tiene:

$$C_s = 0,15 \times 500 \text{ kgf}$$

$$C_s = 75 \text{ kgf}$$

Al aplicar la Ec.28 se obtiene:

$$C_H = (2,35 + 75) \text{ kgf}$$

$$C_H = 77,35 \text{ kgf}$$

Esta carga horizontal provoca un momento en la estructura, por tanto se tiene:

$$M = 77,35 \text{ kgf} \times 7,341 \text{ m}$$

$$M = 568 \text{ kgf.m}$$

Para obtener el diámetro del perfil a utilizar se aplicará la ecuación de diseño de columnas según LRFD.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1 \quad [\text{Ec.31}]$$

$$f_a = \frac{P}{A_{per}} \quad [\text{Ec.32}]$$

$$f_b = \frac{M}{S_y} \quad [\text{Ec.33}]$$

f_a = Esfuerzo axial calculado(kgf/cm²)

f_b = Esfuerzo de compresión producido por flexión(kgf/cm²)

F_a = Esfuerzo de compresión axial (kgf/cm²)

F_b = Esfuerzo de compresión flexión (kgf/cm²)

F_{bx} = Esfuerzo permisible por flexión (kgf/cm²)

F_{by} = Momento flexionante máximo dividido entre módulo de sección
(27ksi = 186,15MPa acero A36)

M = Momento flexionante(kgf/m)

S_y = Factor cada perfil(m³)

A_{per} = Área del perno (cm²)

La relación de esbeltez de columnas que separa el pandeo elástico del inelástico (C_c) se define por la Ec.34 y la esbeltez por la Ec.35.

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{F_y}} \quad [\text{Ec.34}]$$

$$\lambda = \frac{k_1 \times l_c}{r} \quad [\text{Ec.35}]$$

C_c = Pandeo elástico del inelástico

E = Módulo de elasticidad del acero (20597 MPa)

F_y = Esfuerzo de fluencia del material (250 MPa)

λ = Esbeltez

l_c = Longitud de la columna(m)

$r = \text{Radio de giro}(m)$

$k1 = \text{Factor que depende del tipo de apoyo de la columna}$

Para motivos de cálculo se usará los datos del tubo de 4" proporcionado por el manual del AISC que son los siguientes:

$$\emptyset = 4" = 10,16cm$$

$$A_{per} = 3,17pulg^2 = 20,45cm^2$$

$$r = 1,51pulg = 3,8cm$$

$$S_y = 3,21pulg^3 = 52,6cm^3$$

Al aplicar la Ec.32 se tiene:

$$f_a = \frac{500 \text{ kgf}}{20,45 \text{ cm}^2}$$

$$f_a = 24,44 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 2,4MPa$$

Por lo tanto, al reemplazar valores en la Ec.33 se tiene:

$$f_{by} = \frac{568 \text{ kgf} \cdot m}{5,26 \times 10^{-5} m^3}$$

$$f_{by} = 10798479 \frac{\text{kgf}}{m^2} = 106MPa$$

Entonces, al aplicar la Ec.34 se tiene:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 20597 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}}}$$

$$C_c = 40,33$$

Como los soportes del ciclón son fijos a ambos lados debido a q son soldados y sujetos al piso por medio de placas se tomara un valor de $k1 = 0,5$ que es el factor de una columna empotrada en ambos lados. Por tanto aplicando la Ec.35 se obtiene:

$$\frac{k1 \times lc}{r} = \frac{0,5 \times 3,5 \text{ m}}{0,038 \text{ m}}$$

$$\frac{k1 \times lc}{r} = 46,05$$

Para continuar con el cálculo se debe cumplir una de las siguientes condiciones y ya que para este caso se cumple la segunda condición se aplicara la fórmula del esfuerzo admisible.

$$46,05 > 40,33$$

$$1. \text{ Si } \frac{k1 \times lc}{r} < C_c$$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(kl/2)^2}{2 C_c^2}\right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(kl/r)}{8 C_c} - \frac{(kl/r)^3}{8 C_c^3}}$$

$$2. \text{ Si } \frac{k1 \times lc}{r} > C_c$$

$$F_a = \frac{12 \times \pi^2 \times E}{23 (kl/r)^2}$$

Por lo tanto, al aplicar la segunda condición y reemplazando valores se tiene:

$$F_a = \frac{12 \times \pi^2 \times 20597 \text{ MPa}}{23 (46,05)^2}$$

$$F_a = 50 \text{ MPa}$$

Una vez obtenidos los valores se reemplaza en la Ec.31 y se tiene:

$$\frac{2,4 \text{ MPa}}{50 \text{ MPa}} + \frac{106 \text{ MPa}}{186,15 \text{ MPa}} \leq 1$$

$$0,048 + 0,57 \leq 1$$

$$0,6 \leq 1$$

Por lo tanto, al tener un valor menor a 1 se cumple con la condición, lo que demuestra que los soportes en tubo de 4" SCH 40 soporta el peso del ciclón.

3.5.2. Cálculo de la placa base

La placa base debe ser lo suficiente grande y gruesa para resistir las presiones ejercidas por el concreto y la columna (soportes del ciclón). Un factor importante es la resistencia a la compresión del concreto es de 210 kgf/cm², recomendado por el “American Concrete Institute” en el reglamento para concreto estructural. (ACI 318-02).

Existen tres casos generales de diseño para las placas base sujetas solo a cargas axiales y son:

- Caso I: $A_2 = A_1$
- Caso II: $A_2 \geq 4A_1$
- Caso III: $A_1 < A_2 < 4A_1$

Se debe tomar en cuenta que en este diseño el área del patín de concreto donde se asentará el sistema es mucho más grande que el sistema, por lo que se escoge el caso II, en el cual el área de concreto (A_2) es mayor al área de la placa base (A_1) (Orozco León, David, 2009, pág.14).

La carga axial a la que están sometidos los soportes es de 1500 kgf, pero dicha carga se divide para los tres soportes dando un valor de 500kgf.

$$P_u = P \times 1,5 \quad [\text{Ec.36}]$$

$P = \text{Peso del ciclón}(kgf)$

$P_u = \text{Carga axial última}(klb)$

Al aplicar la Ec.36 se tiene:

$$P_u = 500 \text{ kg} \times 1,5$$

$$P_u = 750 \text{ kgf} \times \frac{2,2 \text{ lbf}}{1 \text{ kgf}} = 1650 \text{ lbf}$$

$$P_u = 1,65 \text{ Klb}$$

Un factor importante en el diseño es calcular el área mínima de la placa base, que es la q soportara la carga axial, y está dada por la Ec.37.

$$A_{1\ req} = \frac{P_u}{2 \times \phi_c \times 0,85 \times f'_c} \quad [\text{Ec.37}]$$

$A_{1\ req}$ = Área mínima requerida para la placa base (pulg²)

ϕ_c = Factor de reducción de resistencia al aplastamiento, es de 0,65

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto (klb/pulg²)

Entonces, al reemplazar valores en la Ec.37 se obtiene:

$$A_{1\ req} = \frac{1,65\ \text{klb}}{2 \times 0,65 \times 0,85 \times 2,98\ \text{klb/pulg}^2}$$

$$A_{1\ req} = 0,5\ \text{pulg}^2$$

Debido que se tiene de dato el área del perfil que se va a utilizar, que en este caso es tubo de 4pulg, donde su diámetro exterior es de 4,5pulg, por lo que como mínimo la placa debe tener 4,5 x 4,5 pulg para que pueda entrar el perfil en la placa y se puede dimensionar como se observa en la Fig.38.

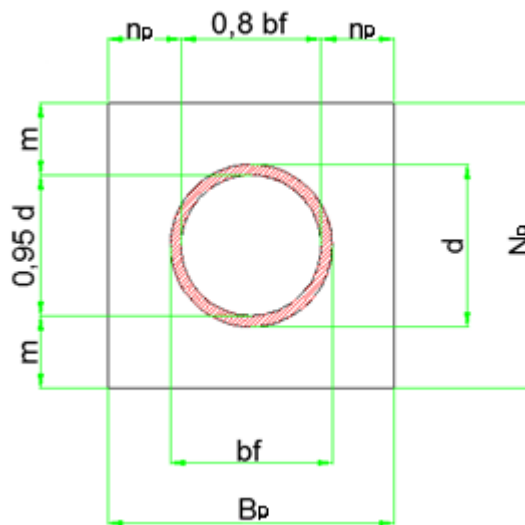


Fig.38. Dimensionamiento de la placa base
Fuente: Autores

Las ecuaciones Ec.38, Ec.39 y Ec.40 permiten obtener las dimensiones de largo y ancho de la placa base, partiendo como dato el área del perfil que se ha seleccionado previamente.

$$N_{pb} = \sqrt{A_{1\ req}} + \Delta \quad [\text{Ec.38}]$$

$$B_{pb} = \frac{A_{1req}}{N_{pb}} \quad [\text{Ec.39}]$$

$$\Delta = \frac{0,95 d - 0,8 b_f}{2} \quad [\text{Ec.40}]$$

N_{pb} = Longitud de la placa base

A_{1req} = Área mínima requerida para la placa base

Δ = Factor de longitudes del perfil

B_{pb} = Ancho de la placa base

d = Largo del perfil

b_f = Ancho del perfil

Por lo tanto, al reemplazar los datos del perfil en la Ec.40 se tiene:

$$\Delta = \frac{0,95 (4,5\text{pulg}) - 0,8 (4,5\text{pulg})}{2}$$

$$\Delta = 0,337$$

Al aplicar la Ec.38 y Ec.39 se obtiene:

$$N_{pb} = \sqrt{4,5\text{pulg} \times 4,5\text{pulg}} + 0,337$$

$$N_{pb} = 4,8\text{pulg} = 122\text{mm}$$

$$B_{pb} = \frac{4,5\text{pulg} \times 4,5\text{pulg}}{4,8\text{pulg}}$$

$$B_{pb} = 4,2\text{pulg} = 107\text{mm}$$

Una vez obtenidas las dimensiones exteriores de la placa base se puede obtener las distancias entre el perfil y los lados de la placa como se observa en la Fig.35, por medio de las Ec.41 y Ec.42.

$$m = \frac{N_{pb} - 0,95 d}{2} \quad [\text{Ec.41}]$$

$$n_{pb} = \frac{B_{pb} - 0,8 b_f}{2} \quad [\text{Ec.42}]$$

m = Distancia vertical entre el extremo de la placa y el perfil(pulg)

n_{pb} = Distancia horizontal entre el extremo de la placa y el perfil(pulg)

Entonces, al reemplazar valores en la Ec.41 y Ec.42 se tiene:

$$m = \frac{4,8 \text{ pulg} - 0,95 (4,5 \text{ pulg})}{2}$$

$$m = 0,26 \text{ pulg} = 6,6 \text{ mm}$$

$$n_{pb} = \frac{4,2 \text{ pulg} - 0,8 (4,5 \text{ pulg})}{2}$$

$$n_{pb} = 0,3 \text{ pulg} = 7,6 \text{ mm}$$

Por último, se debe calcular el espesor de la placa base, ya que es el que ayudará a soportar la carga total de la estructura, para lo cual es necesario obtener una serie de factores que lo componen.

$$\phi_C \cdot P_P = \phi_C \times f'_c \times 2 A_{1 \text{ req}} \quad [\text{Ec.43}]$$

$$X = \left(\frac{4 \times d \times b f}{(d + b f)^2} \right) \times \frac{P_u}{\phi_C \cdot P_P} \quad [\text{Ec.44}]$$

$$\lambda' = \frac{2 \sqrt{X}}{1 + \sqrt{1 - X}} \leq 1 \quad [\text{Ec.45}]$$

$$\lambda n' = \lambda' \frac{\sqrt{d \times b f}}{4} \quad [\text{Ec.46}]$$

ϕ_C = Factor de reducción de resistencia al aplastamiento, es de 0,65

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto(klb/pulg²)

$\phi_C \cdot P_P$ = Carga total de la estructura(klb)

$A_{1 \text{ req}}$ = Área mínima requerida para la placa base(pulg²)

X = Variable

λ' = Variable

$\lambda n'$ = Factor de espesor de la placa base(pulg)

Al aplicar la Ec.43 se obtiene:

$$\phi_C \cdot P_P = 0,65 \times 2,98 \text{ klb/pulg}^2 \times 2 \times (4,5 \times 4,5) \text{ pulg}^2$$

$$\phi_C \cdot P_P = 78,45klb$$

Por tanto, al reemplazar valores en la Ec.44 se tiene:

$$X = \left(\frac{4 \times 4,5pulg \times 4,5pulg}{(4,5pulg + 4,5pulg)^2} \right) \times \frac{1,65klb}{78,45klb}$$

$$X = 0,021$$

Entonces, al reemplazar valores en la Ec.45 se tiene:

$$\lambda' = \frac{2\sqrt{0,021}}{1 + \sqrt{1 - 0,021}} \leq 1$$

$$\lambda' = 0,145 \leq 1$$

Al aplicar la Ec.46 se obtiene:

$$\lambda n' = 0,145 \frac{\sqrt{4,5pulg \times 4,5pulg}}{4}$$

$$\lambda n' = 0,16 pulg = 4,2mm$$

Para el cálculo del espesor de la placa base se toma el valor máximo entre $\lambda n'$, m y n , para este caso el valor de n es el mayor por lo que se utilizara para los cálculos. Se puede calcular el espesor mínimo de la placa por medio de la Ec.47.

$$l = \max(\lambda n', m, n)$$

$$l = 0,3 pulg$$

$$t_{min} = l \sqrt{\frac{2 \times P_u}{\phi_F \times F_y \times B_P \times N_P}} \quad [Ec.47]$$

t_{min} = Espesor mínimo requerido de la placa base

ϕ_F = Factor de reducción de la resistencia a la flexión igual a 0,90

F_y = Esfuerzo de fluencia especificado para la placa base, $F_y = 36 ksi$

Al reemplazar en la Ec.47 se tiene:

$$t_{min} = 0,3pulg \sqrt{\frac{2 (1,65klb)}{0,9 \times 36ksi \times 4,2pulg \times 4,8pulg}}$$

$$t_{min} = 0,021 \text{ pulg} = 0,5mm$$

Las dimensiones calculadas son las siguientes: $4,8'' \times 4,2'' \times 0,02'' = 122mm \times 107mm \times 0,5mm$, por lo que se dimensionara la placa base de $160mm \times 160mm \times 10mm$, que cubren las medidas mínimas requeridas y dará espacio para colocar los pernos.

3.5.2.1. Cálculo pernos de anclaje

Para fijar el ciclón por medio de las placas base al piso es necesario calcular los pernos de anclaje los cuales mantendrán estable a dicha estructura, por tanto es necesario el momento flexionante producido por las cargas horizontales, que se componen por las cargas de viento y sismo, calculadas anteriormente, otro factor importante es la distancia entre los pernos y la tracción de diseño nominal (F_t) de los mismos. Ver Fig.39.

En las estructuras metálicas se usan pernos estructurales de alta resistencia, como son los pernos A-325 que son pernos de alta resistencia.

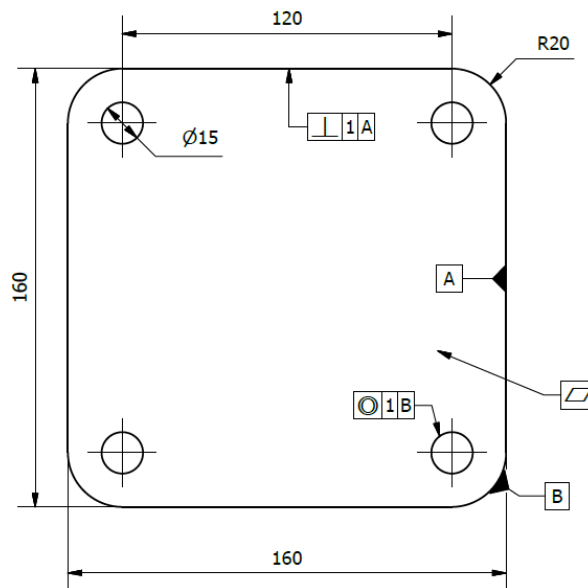


Fig.39. Dimensiones de la placa base
Fuente: Autores

Para obtener la tensión aplicada a los pernos se divide el momento actuante para la separación de los pernos en la placa en este caso es de 120mm.

$$T_{pr} = \frac{M}{S_{pr}} \quad [\text{Ec.48}]$$

$M = \text{Momento flexionante (kgf.m)}$

$T_{pr} = \text{Tensión en los pernos (kgf)}$

$S_{pr} = \text{Separación de los pernos (cm)}$

Al aplicar la Ec.48 se obtiene:

$$T_{pr} = \frac{56800 \text{ kgf.m}}{120 \text{ mm}}$$

$$T_{pr} = \frac{56800 \text{ kgf.cm}}{12 \text{ cm}}$$

$$T_{pr} = 4733,33 \text{ kgf}$$

Para obtener el diámetro de los pernos se divide la tensión de los pernos (T_{pr}) para la tracción de diseño nominal del perno.

$$A_{pr} = \frac{T_{pr}}{F_t} \quad [\text{Ec.49}]$$

$A_{pr} = \text{Área del perno (cm}^2\text{)}$

$T_{pr} = \text{Tensión en los pernos (kgf)}$

$F_t = \text{Tracción de diseño nominal del perno } 6330 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Al reemplazar valores en la Ec.49 se tiene:

$$A_{pr} = \frac{4733,33 \text{ kgf}}{6330 \text{ kgf/cm}^2}$$

$$A_{pr} = 0,747 \text{ cm}^2$$

Por tanto, el diámetro del perno es:

$$D_{pr} = \sqrt{\frac{4 \times A_{pr}}{\pi}}$$

$$D_{pr} = \sqrt{\frac{4 \times 0,747 \text{ cm}^2}{\pi}}$$

$$D_{pr} = 0,975cm \approx 1/2"$$

Se colocarán 4 pernos de diámetro 1/2" pulgada para la placa base, con las dimensiones como se muestra en la Fig. 40, las que han sido tomadas de la Tabla 22.

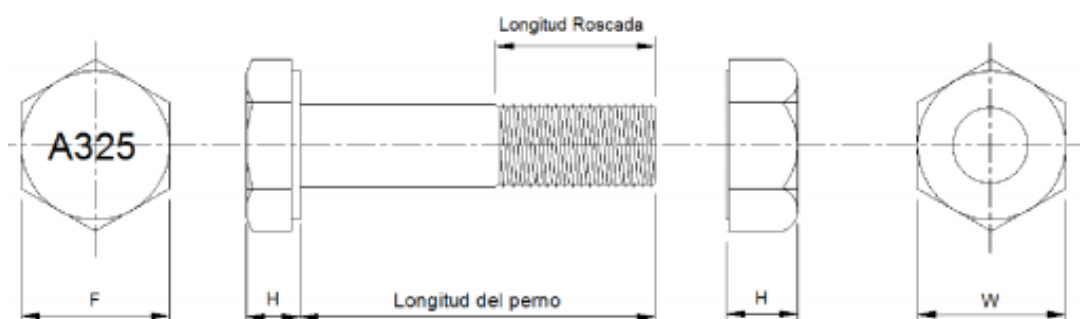


Fig.40. Dimensiones estándar de pernos y tuercas de alta resistencia
Fuente: Christian Garzón Chalco, MR & Asociados Consultores S.A (2010).

Tabla 22. Dimensiones estándar de pernos y tuercas

Diámetro Nominal del Perno db , in.	Dimensiones de Pernos Estructurales de Cabeza Hexagonal Pesada			Dimensiones de Tuercas Hexagonales Pesadas	
	Ancho a través de cara plana F , plg.	Altura $H1$, plg.	Longitud Roscada T , plg.	Ancho a través de cara plana W , plg.	Altura $H2$, plg.
1/2	7/8	5/16	1	7/8	31/64
5/8	1 1/16	25/64	1 1/4	1 1/16	39/64
3/4	1 1/4	15/32	1 3/8	1 1/4	47/64
7/8	1 7/16	35/64	1 1/2	1 7/16	55/64
1	1 5/8	39/64	1 3/4	1 5/8	63/64
1 1/8	1 13/16	11/16	2	1 13/16	1 7/64
1 1/4	2	25/32	2	2	1 7/32
1 3/8	2 3/16	27/32	2 1/4	2 3/16	1 11/32
1 1/2	2 3/8	15/16	2 1/4	2 3/8	1 15/32

Fuente: Revista Ciencia (2010).

3.5.3. Selección de soportes para ductos

La selección de soportes para ductos no debe tomarse la ligera no sólo porque se trata de una porción significativa de la mano de obra, sino también que un sistema que cuelga puede fallar a causa de su propio peso lo cual puede ser desastroso. En cualquier sistema suspendido si uno de sus soportes falla, una carga aún mayor se transfiere a la siguiente, el resultado es un fallo en cascada en el que todo el sistema de ductos podría caer.

Hay muchas alternativas de suspensión o soportes para ductos, especialmente para ductos de diámetros mayores. Además se debe tener en cuenta las particularidades de la estructura del edificio, las habilidades de los trabajadores, la disponibilidad de herramientas, y las recomendaciones del fabricante del soporte.

Existen varios tipos de abrazaderas para sujetar ductos redondos, algunos debe ser utilizado con un perno de retención, espárragos soldados puede ser instalado utilizando equipo de soldadura especial o un tipo de banda de suspensión. Ver Fig.41.

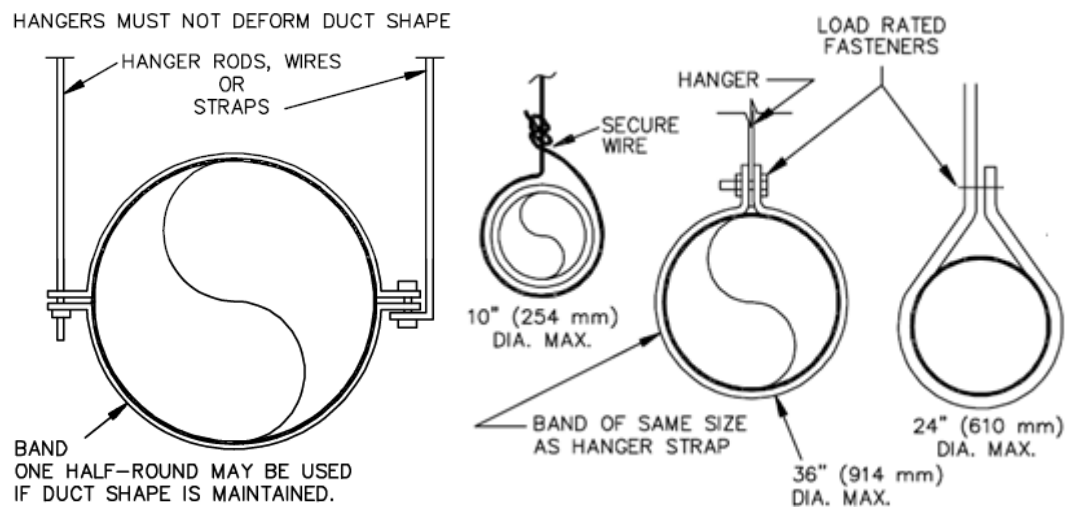


Fig.41. Soportes para ductos redondos
Fuente: SMACNA (1995).

Para la selección se tomará en cuenta el diámetro del ducto como se observa en la Tabla 23, lo que nos dará una distancia máxima entre soportes y el tipo de soporte a usar.

Tabla 23. Tamaños de soportes para ductos redondos

Dia.	Maximum Spacing	Wire Dia.	Rod	Strap
10" dn 250 mm dn	12' 3.7 m	One 12 ga. One 2.75 mm	1/4" 6.4 mm	1" x 22 ga. 25.4 x 0.85 mm
11-18"	12'	Two 12 ga. or One 8 ga.	1/4"	1" x 22 ga.
460 mm	3.7 m	One 4.27 mm	6.4 mm	25.4 x 0.85 mm
19-24"	12'	Two 10 ga.	1/4"	1" x 22 ga.
610 mm	3.7 m	Two 3.51 mm	6.4 mm	25.4 x 0.85 mm
25-36"	12'	Two 8 ga.	3/8"	1" x 20 ga.
900 mm	3.7 m	Two 2.7 mm	9.5 mm	25.4 x 1.00 mm
37- 50"	12'	→	Two 3/8"	Two 1" x 20 ga.
1270 mm	3.7 m		Two 9.5 mm	(2) 25.4 x 1.00 mm
51- 60"	12'		Two 3/8"	Two 1" x 18 ga.
1520 mm	3.7 m	→	Two 9.5 mm	(2) 25.4 x 1.31 mm
61-84"	12'	→	Two 3/8"	Two 1" x 16 ga.
2130 mm	3.7 m		Two 9.5 mm	(2) 25.4 x 1.61 mm

Fuente: SMACNA (1995).

El sistema posee diferentes diámetros de ducto por lo cual se tomara encuentra el diámetro mayor para la selección del soporte que es de 887mm=34.5", por tanto se usará un soporte de tipo abrazadera de 6mm de espesor con barras roscadas de 3/8" y con una distancia de 3m entre soporte y soporte.

3.5.4. Diseño de soldadura

La soldadura ha llegado a ser el método más económico más común para unir entre si componentes metálicos de estructuras debido a que las conexiones soldadas son eficientes, limpias y económicas. Ver Fig.42.

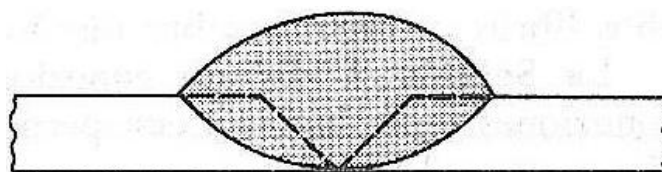


Fig.42. Junta a tope

Fuente: Mecánica de Materiales (2007).

Los ensayos han demostrado que una soldadura a tope, de penetración completa colocada adecuadamente, es tan resistente o más resistente que el metal de las piezas a soldar. Por tanto las soldaduras que generalmente actúa a tensión o compresión, no se diseñan matemáticamente. Se determina la resistencia de una conexión soldada a tope por medio de la Ec.49 (Fitzgerald, Robert W., 2007, pág.406).

$$P_R = \sigma \times A_s \quad [\text{Ec.50}]$$

A_s = Área de la sección transversal de la placa mas delgada (plg²)

σ = Esfuerzo permisible de las placas (36000lbf/plg²)

P_R = Resistencia de una conexión soldada a tope (lbf)

Todas las soldaduras serán aplicadas mediante el proceso MIG (Metal Inerte Gas), la soldadura deberá tener penetración completa, con el fin de verificar la calidad de los cordones se utilizará tintas penetrantes y partículas magnéticas en las juntas soldadas.

Se tomará para el cálculo soldadura recta y circular que tenemos en todo el sistema ambas a tope, por lo que se toma dos ejemplos puntuales que son los que tienen mayor superficie a ser soldada, el ducto de mayor diámetro el cual se soldará de manera recta (costura) y el cuerpo del ciclón que se soldará de manera circular (cilindro-cono).

Al aplicar la Ec.50 se tiene:

Para ducto de Ø890mm x 6000mm x 1mm=35plg x 236,2plg x 0,04plg

$$A_s = 6000\text{mm}^2 = 9,3\text{plg}^2$$

$$P_{per} = 36000\text{lbf/plg}^2 \times (9,3\text{plg}^2)$$

$$P_{per} = 334800 \text{ lbf}$$

Para cuerpo del ciclón de Ø1600mm x 4.75mm= Ø 63pulg x 0,18plg;

$$A_s = 23876,1\text{mm}^2 = 37\text{plg}^2$$

$$P_{per} = 36000\text{lbf/plg}^2 \times (37\text{plg}^2)$$

$$P_{per} = 1332000 \text{ lbf}$$

CAPITULO 4

CÁLCULO DE COSTOS

4.1. Análisis de costos de fabricación

Una vez diseñado el sistema de extracción y teniendo todos los cálculos y el dimensionamiento, se debe realizar un análisis de costos que tiene como objetivo cuantificar los gastos necesarios para la construcción del mismo.

Este análisis se lo hace para observar la importancia de una buena planificación identificando los costos directos e indirectos que ayuden a determinar el costo del sistema.

Entiéndase como costos de fabricación a la inversión de recursos que son recuperables, los mismos que representan materias primas, mano de obra y demás variables inmersas en los diferentes procesos para realizar actividades relacionadas directamente con la producción del bien (Chávez Villalobos, Álvaro, 2008, pág.17).

Los costos de producción son los rubros necesarios para iniciar la construcción de un proyecto, estos varían de acuerdo a los volúmenes de producción, estos costos se clasifican como costos directos e indirectos.

4.2. Costos directos

Estos costos se definen así porque afectan directamente la determinación del precio del producto, estos tienden a permanecer constantes a ciertos márgenes de capacidad de volúmenes de producción que se determinan en función del tiempo.

El costo directo también contempla las labores necesarias para la manipulación y transformación de dichos recursos, estos se transfieren directamente al producto final y están constituidos por:

4.2.1. Materiales Directos

Se refiere a todos aquellos artículos transformados que acompañan al producto final y no constituyen parte de él, pero son comercializados de manera conjunta, tal es el caso de los envases, envolturas, cajas de empaque y embalaje, etiquetas, accesorios, repuestos, etc.

4.2.2. Mano de Obra Directa

Es el esfuerzo físico y mental que se pone al servicio de la fabricación de un bien. Es la mano de obra consumida en las áreas que tienen una relación directa con la producción o la prestación de algún servicio. Es la generada por los obreros y operarios calificados de la empresa.

4.3. Costos indirectos

A más de los costos directos, es también necesario para la fabricación otros costos tales como servicios públicos (agua, luz y teléfono), arriendos, equipos y seguros que no dependen con el volumen de producción, junto con los materiales indirectos y la mano de obra indirecta, constituyen el tercer elemento integral del costo total del producto terminado (Horngren Charlet T. y Datar Srikant M, 2007, pág.37).

Estos costos son los que participan en el proceso productivo pero no se incorporan físicamente al producto final, estos costos está, vinculados al periodo productivo y no al producto terminado, entre ellos existen:

4.3.1. Material indirecto

Son insumos que no se pueden cuantificar en el producto elaborado ni forman parte de él; pero sin su participación no sería posible la producción de bienes finales.

Están constituidos por suministros que influyen en la producción, como son los combustibles, lubricantes, útiles de limpieza, herramientas y equipos de trabajo, materiales de mantenimiento etc.

4.3.2. Mano de obra indirecta

Es aquella mano de obra que no interviene directamente en la transformación de la materia prima y en la obtención del producto final, por ejemplo todos los jefes del departamento de Producción, como el gerente de Planta, etc, aquí se incluyen beneficios sociales, aportes institucionales, seguridad social y otras retribuciones que se le dan al personal.

4.3.2.1. Costos de diseño

Este costo corresponde al valor del diseño e ingeniería donde se debe tomar en cuenta el conocimiento, experiencia, la orientación técnica, la elaboración de planos, el tiempo empleado por los profesionales en el desarrollo del diseño del sistema del proyecto.

4.4. Costo total del proyecto

El costo total del proyecto está dado en función del peso total del sistema, que comprende los materiales, la mano de obra, la maquinaria y montaje, además de los equipos, accesorios empleados y diseño de dicho sistema.

4.5. Análisis de costos

Para el cálculo del costo general del sistema se tomará en cuenta los valores que maneja la empresa Proyectos Mecánicos PROMEC S.C.C. Ver Tabla24.

Tabla 24. Lista de costos

Rubro	Costo	
Fabricación de ductos	4	\$/Kg
Fabricación de campanas	4	\$/Kg
Fabricación de soportes	4	\$/Kg
Fabricación de brida(incluye pernos)	4,5	\$/Kg
Fabricación de transiciones	5	\$/Kg
Fabricación de codos	5	\$/Kg
Fabricación del ciclón	5	\$/Kg
Montaje	0,8	\$/Kg
Montacargas	\$ 400,00	El Día
Trabajadores	\$ 60,00	El día de 10 horas

Fuente: Autores

En la Tabla 25 se determina el costo correspondiente al valor del diseño del sistema, la elaboración de planos de montaje y taller.

Tabla 25. Costos de diseño

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO(\$)	COSTO TOTAL(\$)
Planos	84	\$ 80,00	\$ 6.720,00

Fuente: Autores

Para determinar el costo de fabricación de los ductos, bridas, transiciones, codos, campanas, louvers, soportes y el filtro centrífugo (ciclón), se debe sacar los pesos de cada uno de ellos y multiplicarlo por el costo unitario por kilogramo como se observa en la Tabla 26, Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29.

Tabla 26. Costos de fabricación de ductos

Ductos	Cantidad	Peso (Kg)	Precio(\$/Kg)	Subtotal
Ducto 1 Øe 445mm	1	32,5	\$ 4,00	\$ 130,00
Ducto 2 Øe 629mm	1	43,3	\$ 4,00	\$ 173,20
Ducto 3 Øe 770mm	1	52,5	\$ 4,00	\$ 210,00
Ducto 4 Øe 889mm	1	131,5	\$ 4,00	\$ 526,00
Ducto 5 Øe 889mm	1	59,2	\$ 4,00	\$ 236,80
Ducto 6 Øe 802mm (salida del ciclón)	1	94,2	\$ 4,00	\$ 376,80
Ducto 7 Øe 802mm (salida del ciclón)	1	11,85	\$ 4,00	\$ 47,40
Total		425,05		\$ 1.700,20

Fuente: Autores

Tabla 27. Costos de fabricación de bridas

Bridas	Cantidad	Peso (Kg)	Precio(\$/Kg)	Subtotal
Bridas para Ducto 1	2	4,37	\$ 4,50	\$ 39,29
Bridas para Ducto 2	4	5,97	\$ 4,50	\$ 107,53
Bridas para Ducto 3	4	7,20	\$ 4,50	\$ 129,62
Bridas para Ducto 4 y 5	8	8,26	\$ 4,50	\$ 297,32
Bridas para ciclón(entrada)	2	7,46	\$ 4,50	\$ 67,15
Bridas para Ducto 6 y 7(salida del ciclón)	12	7,85	\$ 4,50	\$ 423,63
Bridas para Ventilador (unión junta de expansión)	2	4,56	\$ 4,50	\$ 41,04
Bridas para Depósito	2	7,49	\$ 4,50	\$ 67,37
Total		53,15		\$ 1.172,95

Fuente: Autores

Tabla 28. Costos de fabricación de elementos del sistema

Descripción	Cantidad	Peso unitario (Kg)	Precio(\$/Kg)	Subtotal
Transición 1 Ø 445x343x1mm	1	4,7	\$ 5,00	\$ 23,50
Transición 2 Ø 629x264x1mm	1	4,7	\$ 5,00	\$ 23,50
Transición 3 Ø 770x222x1mm	1	4,7	\$ 5,00	\$ 23,50
Transición 4 Ø 889x700x1mm	1	13,4	\$ 5,00	\$ 67,00
Transición 5 Ø 802x406x1mm	1	7,2	\$ 5,00	\$ 36,00
Codo 1 Øe 889	1	61,2	\$ 5,00	\$ 306,00
Codo 2 Øe 802	3	49,6	\$ 5,00	\$ 744,00
Soporte para Ducto 1	1	5,2	\$ 5,00	\$ 26,00
Soporte para Ducto 2	1	6,4	\$ 5,00	\$ 32,00
Soporte para Ducto 3	1	7,5	\$ 5,00	\$ 37,50
Soporte para Ducto 4 y 5	4	8,5	\$ 5,00	\$ 170,00
Soporte para codo en Ducto 5	1	13	\$ 5,00	\$ 65,00
Campana 1080x1080mm	4	13	\$ 5,00	\$ 260,00
Louvers	2	91	\$ 4,00	\$ 728,00
Total		290,1		\$ 2.542,00

Fuente: Autores

Tabla 29. Costo de fabricación del ciclón

Descripción	Cantidad	Peso (Kg)	Precio(\$/Kg)	Subtotal
Ciclón	1	1477,4	\$ 5,00	\$ 7.387,00
Soporte para Ciclón	1	205,6	\$ 4,00	\$ 822,40
Total		1683		\$ 8.209,40

Fuente: Autores

Parte importante del sistema son los pernos, arandelas y tuercas que serán los que ayudarán a sujetar las partes, así como también el ventilador que es el que extraerá el aire contaminado para ser limpiado y se los tomara como accesorios del sistema. Ver Tabla 30.

Tabla 30. Costos de equipos y accesorios

Descripción	Cantidad	Precio(\$/kg)	Subtotal
Ventilador centrífugo,25000CFM,7,5plg H2O,220/3/60	1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
Junta de expansión 24"x10"	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Filtros de aire MERV 6 ; 30%	12	\$ 12,00	\$ 144,00
Pernos de anclaje 1/2"x 2"	12	\$ 1,00	\$ 12,00
Total			\$ 15.216,00

Fuente: Autores

Una vez construidas las partes del sistema y adquiridos los accesorios, se realizara el montaje del mismo. Para obtener el costo de montaje se usa el peso total del sistema, que se lo multiplica por el costo unitario por kilogramo y se suma el costo del montacargas por los días que se use este recurso como se observa en la Tabla 31.

Tabla 31. Costo de montaje

Descripción	Cantidad	Peso (Kg)	Precio (\$/Kg)	Subtotal
Sistema Recolección	1	2560	\$ 0,80	\$ 2.048,00
Montacargas	2	Día 10 horas(2días)	\$ 400,00	\$ 800,00
Total		2560		\$ 2.848,00

Fuente: Autores

Finalmente el costo total del sistema de recolección de partículas será la suma de los costos descritos anteriormente. Ver Tabla 32.

Tabla 32. Costo total del sistema

DESCRIPCIÓN	PRECIO(\$)
Costos de diseño	\$ 6.720,00
Costos de fabricación de ductos	\$ 1.700,20
Costos de fabricación de bridas	\$ 1.172,95
Costos de elementos del sistema	\$ 2.542,00
Costo de fabricación del ciclón	\$ 8.209,40
Costo de equipos y accesorios	\$ 15.316,00
Costos de montaje	\$ 2.848,00
TOTAL	\$ 38.508,55

Fuente: Autores

Es necesario realizar un desglose de los materiales a ser utilizados en la construcción del sistema, en el que constará del número de planchas, perfiles y pernos. Ver Tabla 33, Tabla 34, Tabla 35, Tabla 36, Tabla 37 y Anexo 4.

Tabla 33. Cantidad de planchas de acero

Descripción	Material				
	Dimensión Planchas (mm)	m ² necesarios	m ² por plancha	Material por unidad en planchas	Total de Planchas
Ducto 1 Øe 445mm	2440x1220x1	3,69	2,98	1,24	1,24
Ducto 2 Øe 629mm	2440x1220x1	5,38	2,98	1,81	1,81
Ducto 3 Øe 770mm	2440x1220x1	6,67	2,98	2,24	2,24
Ducto 4 Øe 889mm	2440x1220x1	7,68	2,98	2,58	2,58
Ducto 5 Øe 889mm	2440x1220x1	16,82	2,98	5,65	5,65
Ducto 6 Øe 802mm (salida del ciclón)	2440x1220x1	13,86	2,98	4,66	4,66
Ducto 7 Øe 802mm (salida del ciclón)	2440x1220x1	1,51	2,98	0,51	0,51
Transición 1 Ø 445x343x1mm	2440x1220x1	0,60	2,98	0,20	0,20
Transición 2 Ø 629x264x1mm	2440x1220x1	0,60	2,98	0,20	0,20
Transición 3 Ø 770x222x1mm	2440x1220x1	0,60	2,98	0,20	0,20
Transición 4 Ø 889x700x1mm	2440x1220x1	1,86	2,98	0,63	0,63
Transición 5 Ø 802x406x1mm	2440x1220x1	0,91	2,98	0,31	0,31
Codo 1 Øe 889	2440x1220x1	7,92	2,98	2,66	2,66
Codo 2 Øe 802	2440x1220x1	6,40	2,98	2,15	6,45
Campana 1080x1080mm	2440x1220x1	1,38	2,98	0,46	1,85
Louvers (Marco)	2440x1220x1	1,47	2,98	0,49	0,99
Louvers (Placas)	2440x1220x3	0,29	2,98	0,10	2,31
Ciclón	6000x2000x4,75	70,06	12,00	5,84	5,84
Ciclón (hélice)	2440x1220x3	1,32	2,98	0,44	0,44
Ciclón (placa base)	2440x1220x10	0,06	2,98	0,02	0,06

Fuente: Autores

Tabla 34. Cantidad de tubos

Descripción	Material				
	Dimensión Tubo (pulg)	m necesarios	m de tubo	Material por unidad	Total de Tubos
Soporte para Ciclón	4" SCH 40	3,34	6,00	0,56	1,67

Fuente: Autores

Tabla 35. Cantidad de platinas

Descripción	Material				
	Dimensión Platina (mm)	m necesarios	m de Platina	Material por unidad	Total de Platinas
Bridas para Ducto 1	60x6	1,58	6,00	0,26	0,53
Bridas para Ducto 2	60x6	2,16	6,00	0,36	1,44
Bridas para Ducto 3	60x6	2,60	6,00	0,43	1,73
Bridas para Ducto 4 y 5	60x6	2,98	6,00	0,50	3,97
Bridas para ciclón (entrada)	60x6	2,64	6,00	0,44	0,88
Bridas para Ducto 6 y 7(salida del ciclón)	60x6	2,70	6,00	0,45	5,40
Bridas para Ventilador (unión junta de expansión)	60x6	2,01	6,00	0,34	0,67
Bridas para Depósito	60x6	1,38	6,00	0,23	0,46
Soporte 1 -Abrazadera 1	50x6	0,89	6,00	0,15	0,30
Soporte 2 - Abrazadera 2	50x6	1,17	6,00	0,20	0,39
Soporte 3 - Abrazadera 3	50x6	1,40	6,00	0,23	0,47
Soporte 4 - Abrazadera 4 y 5	50x6	1,58	6,00	0,26	2,11

Fuente: Autores

Tabla 36. Cantidad de varillas lisas

Descripción	Material				
	Dimensión Varilla lisa	m necesarios	m de Varilla	Material por unidad	Total de Varillas
Varilla roscada 1 Soporte 1	Ø10 mm	0,70	6,00	0,12	0,12
Varilla roscada 2 Soporte 1	Ø10 mm	1,01	6,00	0,17	0,17
Varilla roscada 1 Soporte 2	Ø10 mm	0,92	6,00	0,15	0,15
Varilla roscada 2 Soporte 2	Ø10 mm	0,61	6,00	0,10	0,10
Varilla roscada 1 Soporte 3	Ø10 mm	0,69	6,00	0,12	0,12
Varilla roscada 2 Soporte 3	Ø10 mm	1,00	6,00	0,17	0,17
Varilla roscada 1 Soporte 4	Ø10 mm	0,72	6,00	0,12	0,36
Varilla roscada 2 Soporte 4	Ø10 mm	2,54	6,00	0,42	1,27
Varilla 1 Soporte 5	Ø10 mm	1,90	6,00	0,32	0,63

Fuente: Autores

Tabla 37. Cantidad de tubo cuadrado

Descripción	Material				
	Tubo cuadrado	m necesarios	m de Tubo cuadrado	Material por unidad	Total de Tubo Cuadrado
Tubo Cuadrado Soporte 5	50x3 mm	1,089	6,00	0,18	0,18

Fuente: Autores

Debido a que se presentan desperdicios al momento de la fabricación, no se usa el 100% del material por lo que se debe aplicar un factor de corrección del 4%, lo que evitará la falta de material durante el proceso de fabricación y la adquisición de los mismos como se observa en la Tabla 38.

Tabla 38. Lista de materiales

Descripción	Total necesario (u)	Factor por desperdicio (%)	Unidades a comprar (u)
Planchas de 2440x1220x1 mm A-36	32,16	1,04	33,00
Planchas de 2440x1220x3 mm A-36	2,75	1,04	3,00
Planchas de 2440x1220x4,75 mm A-36	5,84	1,04	6,00
Planchas de 2440x1220x10 mm A-36	0,06	1,04	1,00
Tubo 4" SCH 40 L=6m A-36	1,67	1,04	2,00
Platina 60x6 L=6m A-36	15,08	1,04	16,00
Platina 50x6 L=6m A-36	3,26	1,04	3,00
Varilla lisa Ø10mm L=6m A-36	3,09	1,04	3,00
Tubo cuadrado 50x3 L=6m A-36	0,18	1,04	1,00
Pernos Hexagonales 3/8"x 1 1/2" UNC Completos A-325	344,00	1,00	344,00
Pernos de anclaje 1/2"x 2" A-325	12,00	1,00	12,00

Fuente: Autores

NOTA: El detalle de los costos de fabricación, materiales, equipos, accesorios y diseño son a manera de información para la empresa Proyectos Mecánicos PROMEC S.S.C, lo que servirá para que en un futuro se pueda realizar la fabricación y puesta en marcha del sistema propuesto.

CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se realizó el diseño de un sistema de recolección de partículas para una cabina de pintura, luego del estudio de tres diferentes alternativas:

- la cámara de sedimentación
- la torre de pulverización
- el separador ciclónico

Se escogió el separador ciclónico por tener un menor costo con respecto a la torre de pulverización a más de no tratar con aguas residuales y por tener una mayor eficiencia en comparación con las cámaras de sedimentación, cumpliendo con la recolección de forma satisfactoria con un 86% de eficiencia en la recolección.

- El análisis para el dimensionamiento del sistema se basa en la extracción total del volumen de la cabina que se encuentra con material particulado, con el cual se calculó las campanas de captación, los ductos y el separador ciclónico.
- Se utilizó ductos circulares en el sistema ya que presentan perdidas menores en comparación a los ductos rectangulares, además de que por su geometría existe menor grado de acumulación y sedimentación de material particulado en sus paredes.
- Se elaboró el modelo 3D del sistema de recolección de partículas en Autodesk® Inventor® 2015 del cuál se elaboraron los respectivos planos de conjunto y detalle para la construcción.
- Se realizó el cálculo de los costos correspondientes de fabricación y montaje del sistema de recolección de partículas, utilizando los precios de fabricación y montaje usados por la empresa Proyectos Mecánicos PROMEC S.C.C.

RECOMENDACIONES

- Es importante la implementación de un sistema de extracción cuando exista contaminación de cualquier naturaleza o condiciones ambientales que pudieran ser perjudiciales para la salud, tales como vapores, gases, nieblas, polvos u otras impurezas en el aire, la ventilación debe contribuir a mantener permanentemente en todo el establecimiento las condiciones ambientales adecuadas.
- Al realizar un sistema de extracción todo el volumen de aire extraído debe ser reemplazado para no originar una presión negativa. Sin dicha reposición el sistema de extracción no puede trabajar con el rendimiento esperado, y se lo puede hacer al suministrar aire de manera natural por medio de louvers o por medio de un ventilador de suministro si es necesario.
- La velocidad del aire debe ser lo bastante alta como para captar el contaminante por medio de las campanas, las que evitaren que dicho material se esparza por el resto del local. Por lo que se recomienda una velocidad de 2,5 m/s que evitará la acumulación de las partículas en suspensión al pasar por la campana.
- Un factor importante al transportar material particulado por ductos es la velocidad, la que debe ser de aproximadamente 18 a 20 m/s, para evitar la acumulación de las partículas a lo largo de los ductos.
- Se recomienda la utilización de ventiladores centrífugos del tipo industrial ya que están diseñados para brindar un funcionamiento confiable en ambientes difíciles en el manejo de aire a altas temperaturas, altas presiones estáticas y manejo de materiales.
- Es importante el uso de juntas de expansión ya que son accesorios flexibles muy versátiles facilitando la solución en caso de vibración mecánica, cuando un sistema de ductos o tubería está conectado a equipos rotativos (bombas, compresores, ventiladores o turbinas).

REFERENCIAS

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc (2009). *HANDBOOK FUNDAMENTALS*. Atlanta: ASHRAE.

Air Movement and Control Association International, Inc. (2011). *Certified Ratings Program Product Rating Manual for Air Control Devices*. Illinois: AMCA.

Área Mecánica (2012). *Ventiladores Centrífugos*. Recuperado de <http://areamecanica.wordpress.com/2012/08/05/ingenieria-mecanica-ventiladores-centrifugos/>.

Bahamondes Santos, José Luis (2008). *Diseño y Construcción de un Separador Ciclónico para la Industria Naval*. Tesis para optar al Título de Ingeniero Naval Mención Máquinas Marinas. Universidad Austral de Chile. Valdivia-Chile.

Carnicer, Royo Enrique (1994). *Ventilación Industrial*. Madrid-España: Paraninfo S.A.

Carrier Air Conditioning (2009). *Handbook of Air Aconditioning System Design*. New York: McGraw-Hill.

Chávez Villalobos Álvaro (2008). *Estimación de Costos*. 2da Ed. Recuperado de http://www.campus.co.cr/educoop/docs/md/caec/caec_i_unidad_08.pdf.

Echeverri Londoño, Carlos Alberto (2011). *Ventilación Industrial*. Bogotá-Colombia: Ediciones de la U.

Echeverri Londoño, Carlos Alberto (2006). *Diseño Óptimo de Ciclones*. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242006000200011.

Engineering Cookbook (1999). *A Handbook for the Mechanical Designer*. 2da Ed. Springfield: Loren Cook Company.

SODECA (2014). *Extracción y Ventilación Industrial*. Recuperado de <http://www.sodeca.com/>

Fitzgerald, Robert W (2007). *Mecánica de Materiales*. 16ta Ed. México: Alfaomega Grupo Editor.

Gilbert, W. J. (1977). *Control de la contaminación atmosférica y el Manual Design Part 2*. New York: Marcel Dekker.

GREENHECK (2010). *Industrial Process Fans Greenheck*. Recuperado de <http://www.greenheck.com/es/>

Herrera Sepúlveda, Bibiana María y Valencia Rivillas, Diva Nelly (2005). *Desarrollo de las Actividades del Plan de Manejo Ambiental-Parte Aire- de la Trilladora San Mateo del Municipio de Chinchíá*. Tesis para optar al Título de Ingeniero Ambiental Enfasis Sanitaria. Colombia-Manizales.

Horngren, Charlet T. y Datar, Srikant M (2007). *Contabilidad de Costos*. 12 Ed. México: Pearson Educación.

IPAC S.A (2014). *IPAC Duferco Group*. Recuperado de <http://www.ipac-acero.com/>

King, C. Judson (2003). *Procesos de separación*. Barcelona-España: Reverté S.A.

Mott, Robert .L (2006). *Mecánica de Fluidos*. 6ta Ed. México: Pearson Educación.

Orozco León, David. (2009). *Programa para el diseño y revisión de placas base y anclas para columnas de acero*. Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de las Américas de Puebla (UDLAP). México-Puebla.

Proveedores Industriales (2013). *Sistemas de Conducción de Aire*. Recuperado de http://www.dirind.com/dim/monografia.php?cla_id=21.

Salvador Escoda S.A (2012). *Manual Práctico de Ventilación*. 2da Ed. España-Barcelona: Salvador Escoda S.A.

Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association,Inc (1995). *HVAC DUCT CONSTRUCTION STANDARDS*. 2ta Ed. U.S.A: SMACNA.

Soler & Palau (2012). *Manual Práctico de Ventilación, Sistemas de Ventilación*. España: Soler & Palau.

Soler & Palau (2006). *Soluciones Innovadoras*. Recuperado de http://global.solerpalau.com/empresa_01_01.html.

Sosa Marco, Adriel (2009). *Operaciones Básicas con Sólidos y Fluidos*. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/14291481/Camaras-de-Sedimentacion>.

Tecnología Ambiental y Consultoría S.A de C.V (2013). *Sistemas Colectores de Polvo*. Recuperado de <http://es.slideshare.net/cesartomasino7/conceptos-bsicos-de-colectores-de-polvos-con-mangas-filtrantes>.

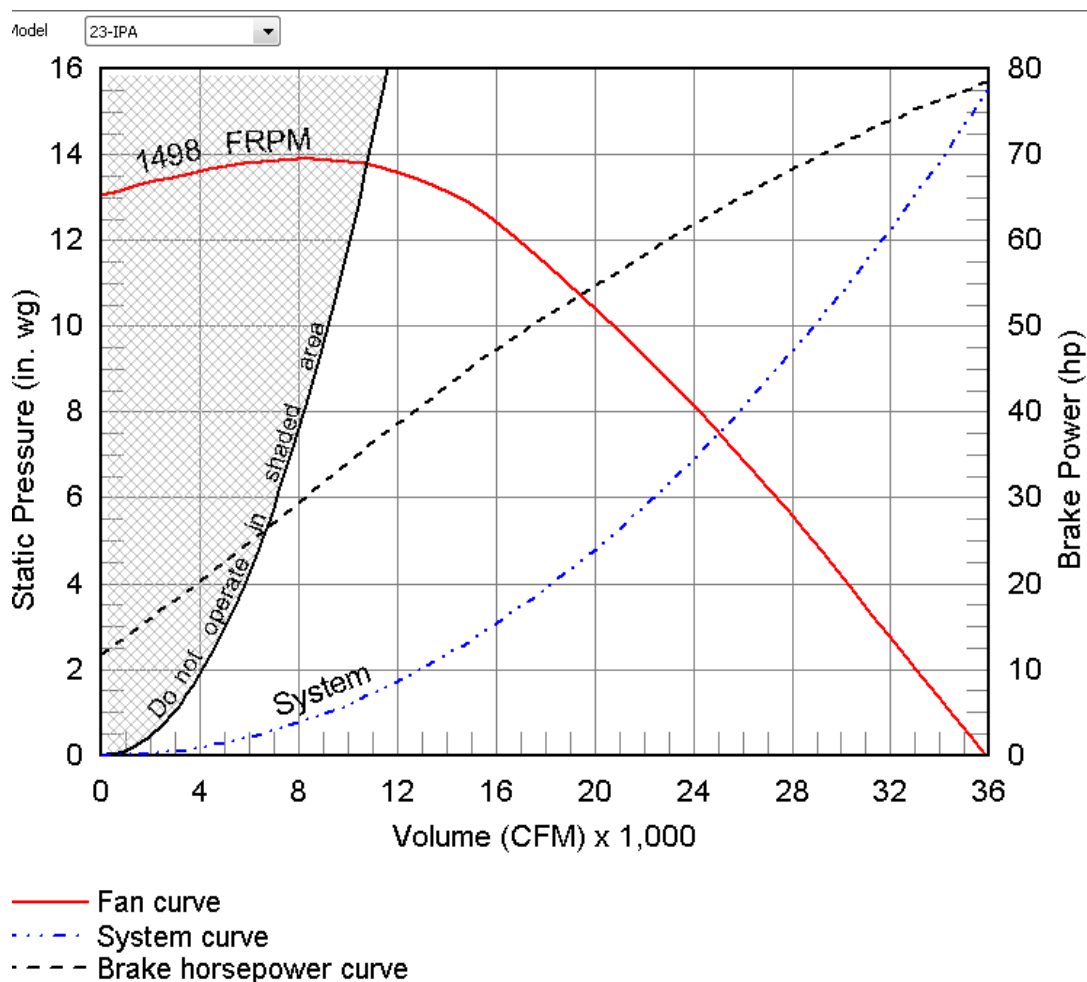
Ventilación Industrial (2010). *Campana, capota. Sistema de Captación*. Recuperado de <http://ventilacionindustrialunipaz.blogspot.com/2010/05/tema-8-campana-capota-sistema-de.html>.

ANEXOS

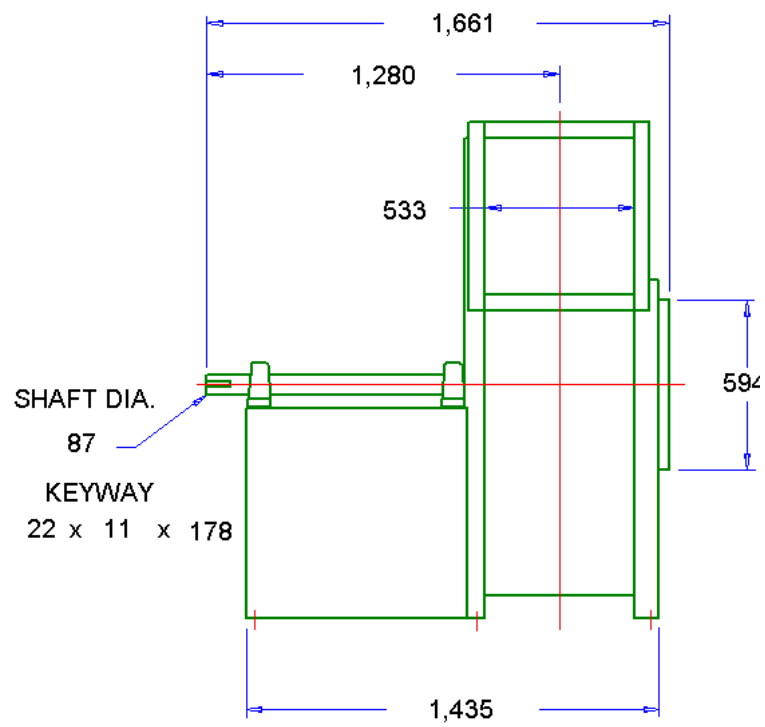
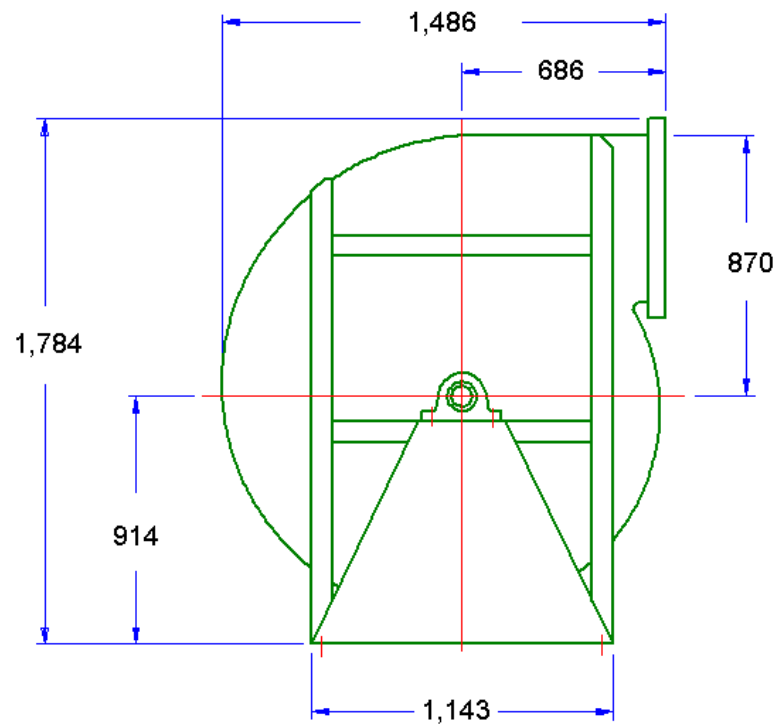
ANEXO 1

Ventilador centrífugo

Model	Relative Cost	Class	OV (km/h)	Fan Speed (RPM)	Max. Class Speed (RPM)	Operating Power (hp)	Startup Power (hp)	Motor Size (hp)
19-IPA		HD	231	2273	2315	96.49	96.5	100
21-IPA		HD	190	1817	2093	75.48	75.49	100
23-IPA	1.00	SD	157	1498	1623	63.51	63.51	75
26-IPA	1.12	SD	123	1189	1439	53.21	53.21	60
29-IPA	1.37	SD	99	981	1286	47.62	47.62	50
33-IPA	1.67	SD	76	806	1129	44.48	44.49	50
37-IPA	2.02	SD	61	697	1009	44	44	50



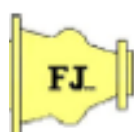
Fuente: Industrial Process Fans Greenheck (2010).



Fuente: Industrial Process Fans Greenheck (2010).

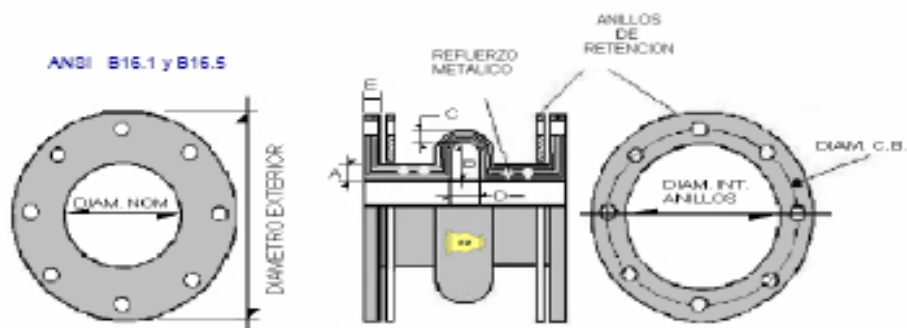
ANEXO 2

Junta de expansión



FLEXIJUNTAS, S.A. DE C.V.

ESPECIFICACIONES Dimensiones de Brida 150 Libras Especificaciones ANSI Estándar



DIAMETRO NOMINAL	LT. STD	DIAM. EXT. (D.E.)	DIAM. C.B.	BARRENOS		ANILLOS DE RETENCIÓN	DIMENSIONES APROXIMADAS				
				No.	DIAM.		A	B	C	D	E
1"	6	4 1/4	3 1/8	4	5/8	2 1/4	5/8	1 1/8	3/8	1/2	9/16
1 1/4	6	4 5/8	3 1/2	4	5/8	2 1/2	5/8	1 1/8	3/8	1/2	9/16
1 1/2	6	5	3 7/8	4	5/8	2 7/8	11/16	1 1/8	3/8	1/2	9/16
2	6	6	4 3/4	4	3/4	3 5/8	11/16	1 1/4	1/2	1/2	5/8
2 1/2	6	7	5 1/2	4	3/4	4 1/8	11/16	1 1/4	1/2	1/2	5/8
3	6	7 1/2	6	4	3/4	4 5/8	11/16	1 1/4	1/2	1/2	5/8
4	6	9	7 1/2	8	3/4	5 7/8	15/16	1 1/4	1/2	1/2	5/8
5	6	10	8 1/2	8	7/8	6 7/8	15/16	1 1/4	1/2	1/2	5/8
6	6	11	9 1/2	8	7/8	7 7/8	15/16	1 1/4	1/2	1/2	5/8
8	6	13 1/2	11 3/4	8	7/8	9 7/8	15/16	1 3/8	5/8	3/4	5/8
10	8	16	14 1/4	12	1	12 1/8	1 1/16	1 1/2	11/16	3/4	3/4
12	8	19	17	12	1	14 1/2	1 1/4	1 1/2	11/16	3/4	3/4
14	8	21	18 3/4	12	1 1/8	16 1/2	1 1/4	1 3/4	3/4	3/4	3/4
16	8	23 1/2	21 1/4	16	1 1/8	18 1/2	1 1/4	1 3/4	3/4	1	3/4
18	8	25	22 3/4	16	1 1/4	20 1/2	1 1/4	1 3/4	3/4	1	3/4
20	8	27 1/4	25	20	1 1/4	22 5/8	1 5/16	1 3/4	13/16	1 1/8	7/8
22	10	29 1/4	27 1/4	20	1 3/8	24 5/8	1 5/16	1 3/4	13/16	1 1/8	7/8
24	10	32	29 1/2	20	1 3/8	26 5/8	1 5/16	2	13/16	1 1/8	7/8
26	10	34 1/2	31 3/4	24	1 3/8	28 7/8	1 7/16	2 1/2	7/8	1 1/8	7/8
28	10	36 1/2	34	28	1 3/8	30 7/8	1 7/16	2 1/2	7/8	1 1/8	7/8
30	10	38 3/4	36	28	1 3/8	32 7/8	1 7/16	2 1/2	7/8	1 1/8	1
32	10	41 3/4	38 1/2	28	1 5/8	35	1 1/2	2 1/2	7/8	1 1/8	1
34	10	43 3/4	40 1/2	32	1 5/8	37	1 1/2	2 1/2	7/8	1 1/8	1
36	10	46	42 3/4	32	1 5/8	39	1 1/2	2 1/2	7/8	1 1/8	1
38	10	48 3/4	45 1/4	32	1 3/4	41	1 1/2	2 1/2	7/8	1 1/8	1
40	10	50 3/4	47 1/4	36	1 3/4	43	1 1/2	2 1/2	7/8	1 1/4	1
42	12	53	49 1/2	36	1 5/8	45 1/4	1 5/8	2 1/2	15/16	1 1/2	1 1/8
44	12	55 1/4	51 3/4	40	1 3/4	47 1/4	1 5/8	2 1/2	15/16	1 1/2	1 1/8
48	12	59 1/2	56	44	1 5/8	51 1/4	1 5/8	2 1/2	15/16	1 1/2	1 1/8
50	12	61 3/4	58 1/4	44	1 7/8	53 1/4	1 5/8	2 1/2	15/16	1 1/2	1 1/8
54	12	66 1/4	62 3/4	44	2	57 1/4	1 5/8	2 1/2	15/16	1 1/2	1 3/16
56	12	68 3/4	65	48	2	59 1/4	1 5/8	2 1/2	15/16	1 1/2	1 3/16
60	12	73	69 1/4	52	2	63 1/4	1 5/8	2 3/4	15/16	1 1/2	1 3/16
62	12	75 3/4	71 3/4	52	2	65 1/4	1 5/8	2 3/4	15/16	1 1/2	1 3/16
66	12	80	76	52	2	69 1/4	1 5/8	2 3/4	15/16	1 1/2	1 3/16
72	12	86 1/2	82 1/2	60	2	75 1/4	1 5/8	2 3/4	15/16	1 3/4	1 3/16

Fuente: FLEXIJUNTAS S.A DE C.V

ANEXO 3

Filtro de aire



FPP FILTRO DE PANEL PLISADO

Características de
Filtración: MERV 6.

Eficiencia de filtración:
25 30 % (ASHRAE
Standard 52.2).

Equivalencias entre valores de estándares ASHRAE

Calificación MERV	Eficiencia	De tamaño de partículas	Aplicaciones	Tipo de filtro
1-4	<20%	> 10 micras	Residencial Comerciales ligeros Equipo Fibra de vidrio Grupo Poli	Permanente De metales Espuma
5-8	<20 a 35%	3 a 10 um	Comercial Industrial Mejor Res. Cabina de pintura	Filtros plegados Tackified
9-12	40 a 75%	1 a 3 um	Res. - Mejor Comercial Telecomunicaciones Industrial	Plisado Caja rígida Rígida célula Bolsa
13-16	80 a 95%	0,3 a 1 um	La eliminación de humos Cirugía General Hospitales Cuidado de la Salud Superior Com.	Rígida de celda Bolsas V-Cell Mini-plegue

Fuente: ASHRAE Handbook—Fundamentals (2009).

ANEXO 4

Materiales

Planchas

- Laminada en caliente
- Laminada en frío



Plancha laminada en caliente

Recubrimiento:
Negro
Norma de Fabricación:
NTE INEN 115 / ASTM A 6
Norma de Calidad:
ASTM A 36 / ASTM A 588 Gr. A / ASTM A 131 Gr. A /
ASTM A 516 Gr. 70 / ASTM A 572 Gr. 50
Observaciones:
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.
mm	mm	mm	kg.
1.220	2.440	1,50	35,05
1.220	2.440	2,00	46,74
1.220	2.440	3,00	70,10
1.220	2.440	4,00	93,47
1.220	2.440	5,00	116,84
1.220	2.440	6,00	140,21
1.220	2.440	8,00	186,94
1.220	2.440	9,00	210,31
1.220	2.440	10,00	233,68
1.220	2.440	12,00	280,41

Aplicaciones

- Conformación de estructuras en general con elementos de alma llena (flejes).
- Fabricación de tanques.
- Estructuras de puentes.
- Estructuras de barcos.
- Camisas de pilotes.
- Encofrados.
- Placas.
- Contención de tierra.
- Plataformas.
- Calderos.
- Tubería de grandes diámetros.

Plancha laminada en frío

Recubrimiento:
Negro
Norma de Fabricación:
NTE INEN 115
Norma de Calidad:
ASTM A 36 / JIS G 3141 SPCC - SD /
SAE 1010
Observaciones:
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.	Calidad
mm	mm	mm	kg.	
1.000	2.000	0,70	10,99	Embutición
1.000	2.000	0,90	14,13	
1.000	2.000	1,10	17,27	
1.000	2.000	1,40	21,98	
1.220	2.440	0,40	9,35	Comercial
1.220	2.440	0,45	10,52	
1.220	2.440	0,50	11,68	
1.220	2.440	0,60	14,02	
1.220	2.440	0,70	16,36	
1.220	2.440	0,75	17,53	
1.220	2.440	0,90	21,03	
1.220	2.440	1,10	25,70	
1.220	2.440	1,40	32,72	
1.220	2.440	2,00	46,74	

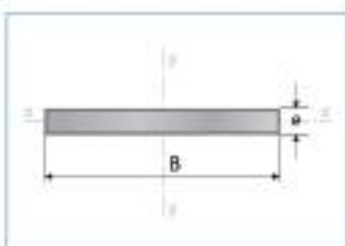
Aplicaciones

- Muebles metálicos en general.
- Puertas metálicas.
- Carpintería metálica.
- Tanque para almacenamiento de aceite.
- Tanques de exportación de frutas.
- Baldes para camionetas.
- Partes y piezas metálicas (abrazaderas, de línea blanca, etc).
- Rótulos.
- Señalización de tránsito.
- Cajas fúnebres.
- Autopartes.

Fuente: IPAC

Productos Laminados

Pletina



Largo normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro
Espesores:
Desde 3,00 a 12,00 mm
Calidad de acero:
DIN 17100 / ST 37-2 / ASTM A-36
Norma de fabricación:
INEN 2222 / ISO 1035
Observaciones:
Otras dimensiones y largos previa
consulta.

- Aplicaciones
- Somier camas.
 - Cerrajería en general (puertas, ventanas, rejas).
 - Estructuras en general.
 - Muebles metálicos.
 - Paquete de resortes (Sistemas de suspensión).



Dimensiones	Espesor	Peso
B	e	P
mm	mm	kg/m
12	3,00	1,70
12	4,00	2,26
12	6,00	3,39
20	3,00	2,63
20	4,00	5,00
20	6,00	5,37
25	3,00	3,53
25	4,00	4,71
25	6,00	7,07
25	8,00	9,42
25	9,50	10,59
25	12,00	14,13
30	3,00	4,24
30	4,00	7,07
30	6,00	8,47
30	8,00	11,30
30	9,50	12,71
30	12,00	16,96
40	3,00	5,37
40	4,00	7,16
40	6,00	10,74
40	8,00	16,11
40	9,50	17,90
40	12,00	21,46
50	3,00	7,07
50	4,00	9,50
50	6,00	14,13
50	8,00	18,84
50	9,50	21,20
50	12,00	28,26
65	6,00	18,37
65	8,50	30,62
65	12,00	36,74
75	6,00	21,20
75	8,50	35,33
75	12,00	42,39
100	6,00	28,26
100	8,00	37,68
100	9,50	47,10
100	12,00	56,52

Fuente: IPAC

Tubería sin Costura

Line Pipe ASTM A-106 Gr. B / A53 / API 5L



Largo Normal:
6 ó 12 metros
Recubrimiento:
Negro (Barniz)
Espesores:
Desde 2,77 a 17,48 mm
Extremos:
Biselados
Observaciones:
Otras dimensiones y
largos previa consulta

Aplicaciones

- Tubos para alta presión.
- Conducción de fluidos a alta presión.
- Escapes de automóviles.
- Andamios.
- Instalaciones
- Oleohidráulicos.
- Industria de pesca, minería e industria en general.
- Fluidos a altas temperaturas.

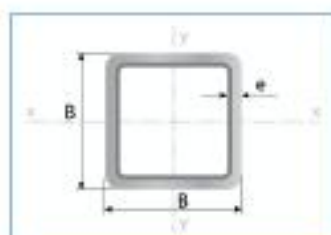
INEN



Descripción Comercial	Designaciones				Propiedades Estáticas			Prueba Presión
	Diámetro		Espesor	Peso	Flexión			
	Exterior	Interior			Momento de inercia	Módulo de resistencia	Ruido de gas	
	D	d	e	P	I	W	i	B
in. - sch.	mm	mm	mm	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	kgf/cm ²
1/2" Ced. 40	21,30	18,76	2,77	1,27	0,71	0,66	0,66	49,30
1/2" Ced. 80	21,30	13,84	3,73	1,62	0,83	0,78	0,64	59,90
3/4" Ced. 40	26,70	20,96	2,87	1,69	1,55	1,16	0,85	49,30
3/4" Ced. 80	26,70	18,88	3,91	2,20	1,87	1,40	0,82	59,90
1" Ced. 40	33,40	26,64	3,38	2,50	3,64	2,18	1,07	49,30
1" Ced. 80	33,40	24,30	4,56	3,24	4,40	2,63	1,03	59,90
1 1/4" Ced. 40	42,20	35,08	3,56	3,39	8,13	3,85	1,37	91,50
1 1/4" Ced. 80	42,20	32,50	4,88	4,47	10,09	4,78	1,33	133,80
1 1/2" Ced. 40	48,43	41,07	3,68	4,05	12,93	5,35	1,58	91,50
1 1/2" Ced. 80	48,43	38,27	5,08	5,43	16,33	6,76	1,54	133,80
2" Ced. 40	60,30	52,48	3,91	5,44	27,66	9,18	2,00	176,10
2" Ced. 80	60,30	49,22	5,54	7,48	36,09	12,00	1,85	176,10
2 1/2" Ced. 40	73,00	62,68	5,16	8,63	63,63	17,40	2,41	176,10
2 1/2" Ced. 80	73,00	58,98	7,01	11,41	80,00	21,90	2,35	176,10
3" Ced. 40	88,90	77,92	5,49	11,29	125,70	28,30	2,96	176,10
3" Ced. 80	88,90	73,66	7,62	15,27	162,10	36,50	2,89	176,10
3 1/2" Ced. 40	101,60	90,12	5,74	13,57	199,30	39,20	3,40	166,90
4" Ced. 20	114,30	103,18	5,56	14,91	281,50	49,30	3,85	143,70
4" Ced. 40	114,30	102,26	6,02	16,08	301,10	52,70	3,83	155,60
4" Ced. 80	114,30	97,18	8,56	22,32	400,00	70,00	3,75	197,20
5" Ced. 20	141,30	130,18	5,56	18,61	547,00	77,40	4,80	116,20
5" Ced. 40	141,30	128,20	6,55	21,77	630,80	89,30	4,77	137,30
5" Ced. 80	141,30	122,26	9,52	30,94	860,00	122,00	4,67	197,20
6" Ced. 20	168,30	157,18	5,56	22,31	942,20	112,00	5,76	97,90
6" Ced. 40	168,30	154,08	7,11	28,26	1.171,60	139,00	5,70	125,40
6" Ced. 80	168,30	146,36	10,97	42,56	1.685,80	200,00	5,58	193,00
8" Ced. 20	219,10	206,40	6,35	33,32	2.403,40	219,00	7,53	85,90
8" Ced. 40	219,10	202,74	8,18	42,55	3.018,70	276,00	7,46	110,60
8" Ced. 80	219,10	193,70	12,70	64,64	4.401,80	402,00	7,31	171,10
10" Ced. 20	273,00	260,30	6,35	41,76	4.730,50	347,00	9,43	69,00
10" Ced. 40	273,00	254,46	9,27	60,29	6.685,80	490,00	9,33	100,70
10" Ced. 80	273,00	242,82	15,08	95,98	10.200,90	747,00	9,13	163,40
12" Ced. 20	323,80	311,10	6,35	49,71	7.980,60	490,00	11,23	57,70
12" Ced. 40	323,80	303,18	10,31	79,71	12.467,00	771,00	11,09	94,40
12" Ced. 80	323,80	288,84	17,48	132,05	18.794,30	1.223,00	10,85	159,90
14" Ced. 20	355,60	339,76	7,92	67,91	13.078,20	736,00	12,30	60,20
14" Ced. 40	355,60	333,34	11,13	94,55	17.883,90	1.006,00	12,19	92,32
14" Ced. 80	355,60	330,20	12,70	107,40	20.135,50	1.132,00	12,13	105,60
16" Ced. 20	406,40	390,56	7,92	77,83	19.686,80	969,00	14,09	57,70
16" Ced. 40	406,40	381,00	12,70	123,31	30.465,70	1.499,00	13,93	92,30
18" Ced. 20	457,00	441,16	7,92	87,71	28.214,40	1.234,00	15,89	51,40
18" Ced. 40	457,00	428,46	14,27	155,81	48.748,10	2.132,00	15,67	92,30
20" Ced. 20	508,00	488,96	9,52	117,03	46.323,20	1.824,00	17,83	55,60
20" Ced. 40	508,00	477,82	15,08	183,43	71.032,80	2.797,00	17,44	86,00
24" Ced. 20	610,00	590,96	9,52	140,88	80.804,10	2.651,00	21,22	46,50
24" Ced. 40	610,00	575,04	17,48	255,43	142.629,30	4.679,00	20,94	84,50

Fuente: IPAC

Tubería Estructural Cuadrada



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
ASTM A 500 Gr. A, B o C
Norma de Fabricación:
NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,50 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones, espesores y
largos previa consulta

Aplicaciones

- Estructuras: columnas para galpones y naves industriales.
- Señalización y vialidad alumbrado, soportes.
- Equipos y máquinas de todo tipo.
- Construcción en general.

INEN



Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
				Eje x-x = y-y		
				Momento de inercia	Modulo de resistencia	Radio de giro
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm³	cm
20	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,74
	2,00	1,34	1,06	0,69	0,69	0,72
25	1,50	1,35	1,06	1,41	1,11	0,97
	2,00	1,74	1,36	1,48	1,18	0,92
30	1,50	1,65	1,30	2,19	1,46	1,15
	2,00	2,14	1,68	2,71	1,81	1,12
	3,00	3,01	2,36	3,50	2,34	1,08
40	1,50	2,25	1,77	5,48	2,74	1,56
	2,00	2,94	2,31	6,92	3,46	1,53
	3,00	4,21	3,30	9,28	4,64	1,48
50	1,50	2,85	2,24	12,56	4,92	2,01
	2,00	3,74	2,93	14,13	5,65	1,94
	3,00	5,41	4,25	19,40	7,76	1,89
60	1,50	3,45	2,71	18,94	6,31	2,43
	2,00	4,54	3,56	25,12	8,37	2,35
	3,00	6,81	5,19	35,08	11,69	2,30
75	2,00	5,74	4,50	51,90	13,84	3,00
	3,00	8,41	6,60	75,13	19,99	2,97
	4,00	10,95	8,59	94,02	24,74	2,92
100	2,00	7,74	6,07	122,99	24,60	3,99
	3,00	11,41	8,96	190,94	37,53	4,04
	4,00	14,95	11,73	235,87	46,54	3,96
125	2,00	9,74	7,64	350,00	56,00	6,00
	3,00	14,41	11,31	355,00	56,80	4,96
	4,00	18,95	14,87	457,00	73,12	4,91
	6,00	27,63	21,69	1193,92	106,20	31,46
135	4,00	20,55	16,13	581,38	86,13	5,32
	5,00	25,36	19,90	704,23	104,33	5,27
	6,00	30,03	23,58	818,50	121,26	5,22

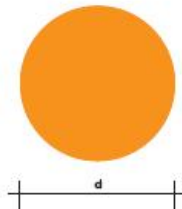
Fuente: IPAC

PERFILES LAMINADOS

Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A 36
Otras calidades	Previa Consulta
Largo normal	6,00 m.
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta

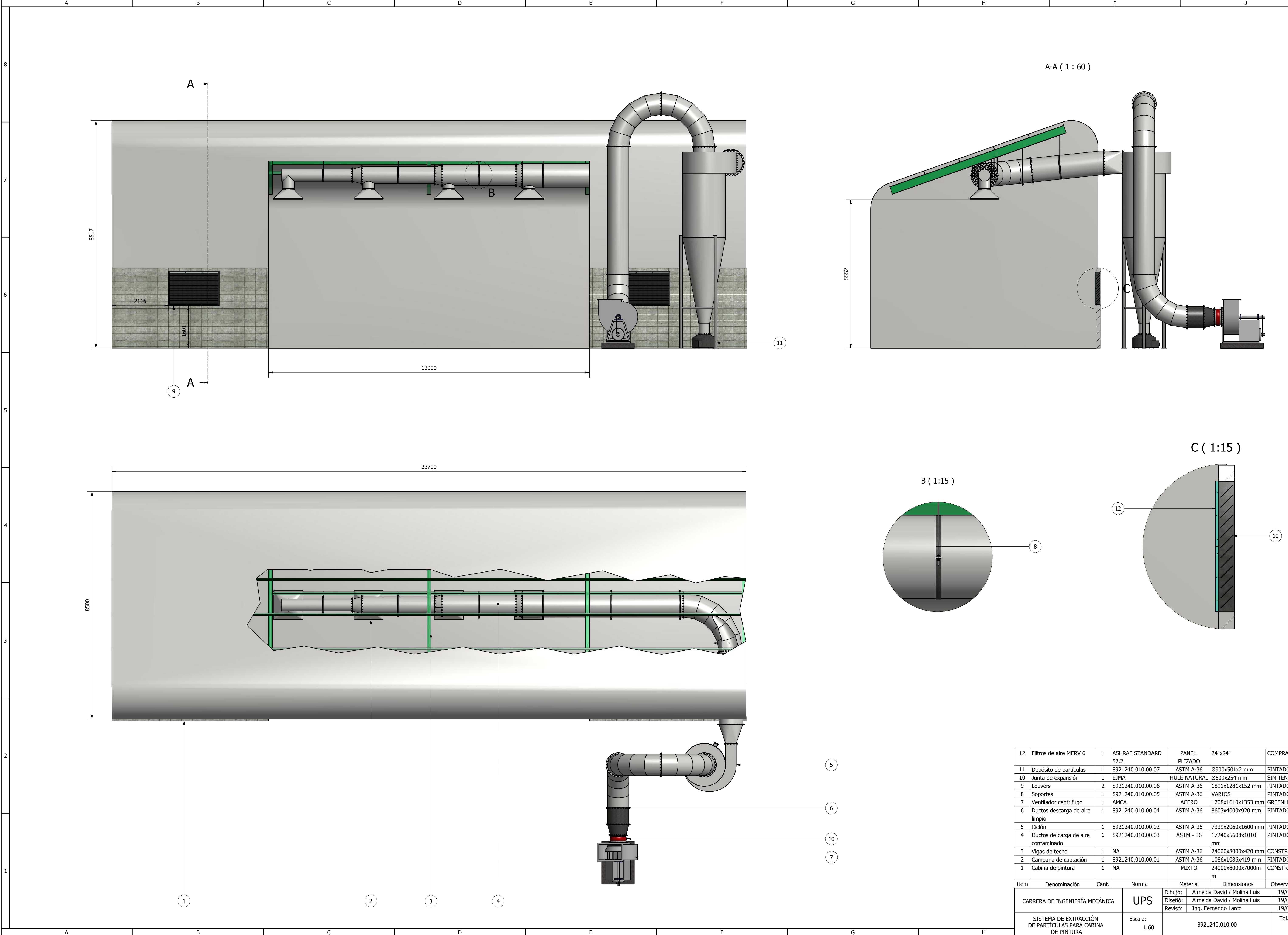
VARILLA REDONDA LISA



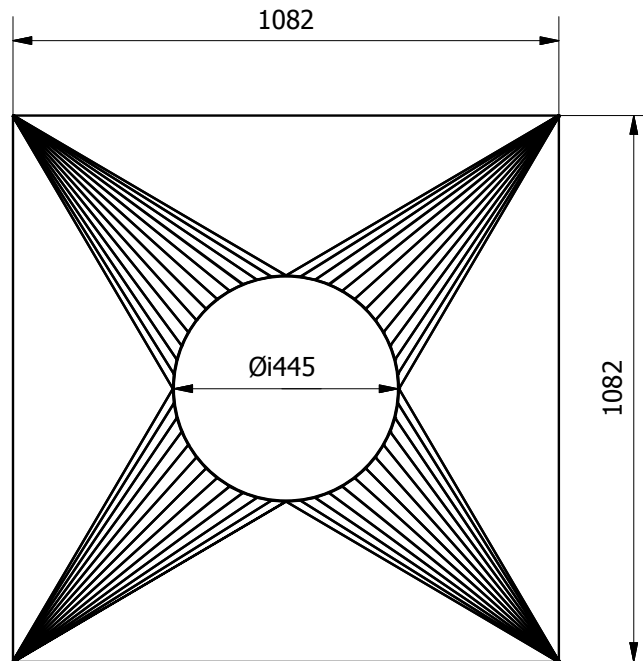
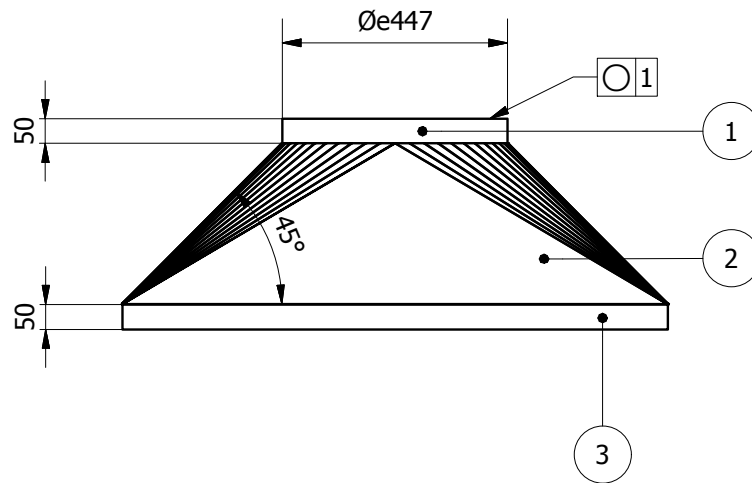
DENOMINACION	DIAMETRO	PESO		AREA
	mm	kg/m	kg/6m	cm2
VRL 5,5	5.5	0.34	2.04	0.43
VRL 8	8.0	0.50	2.96	0.63
VRL 10	10.0	0.62	3.70	0.79
VRL 12	12.0	0.89	5.33	1.13
VRL 15	15.0	1.39	8.32	1.77
VRL 18	18.0	2.00	11.98	2.55
VRL 22	22.0	2.98	17.90	3.80
VRL 24,5	24.0	3.70	22.20	4.71

Fuente: IPAC

ANEXO 5
Planos del sistema

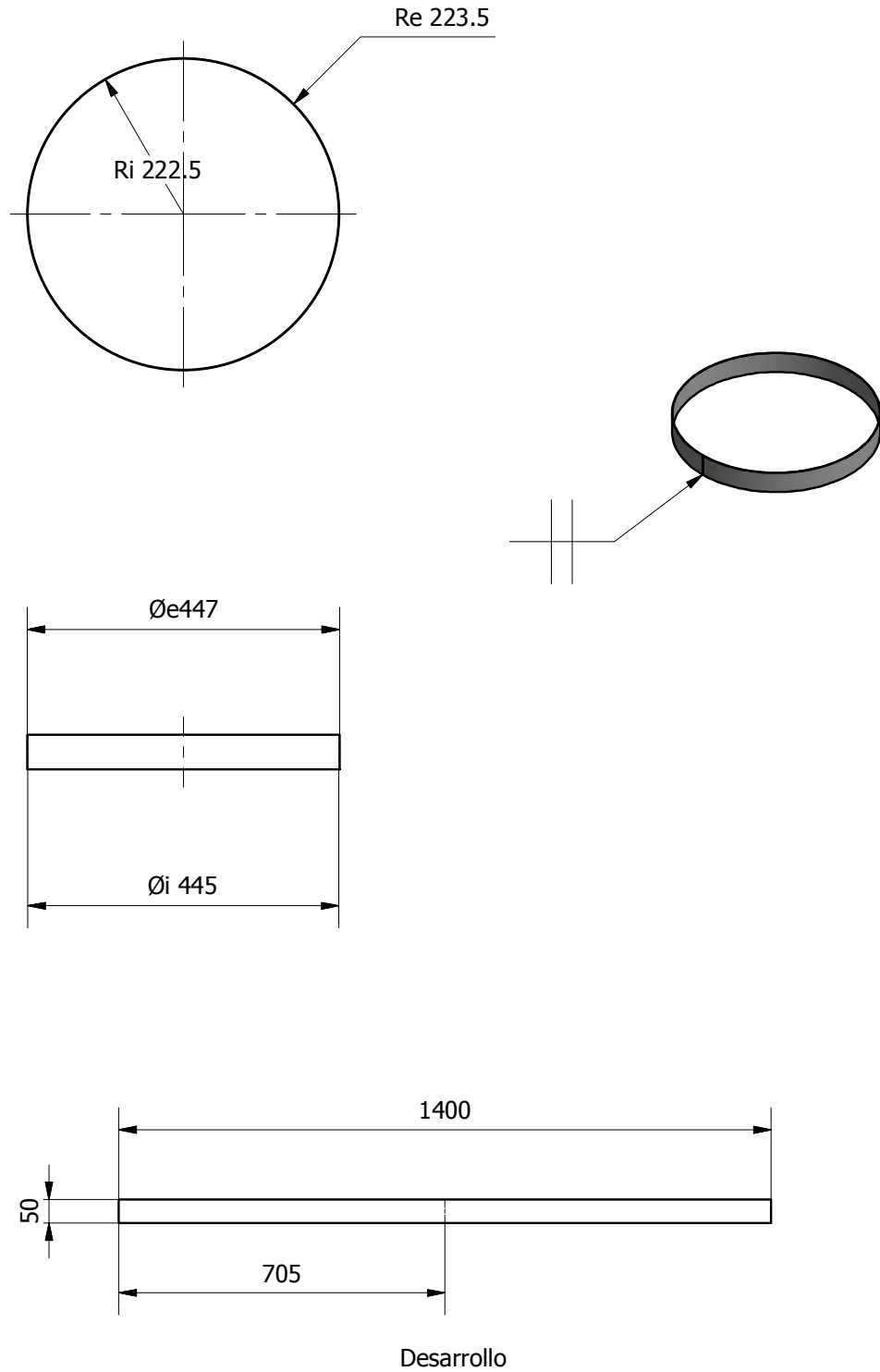


12	Filtros de aire MERV 6	1	ASHRAE STANDARD 52.2	PANEL PLIZADO	24"x24"	COMPRADO
11	Depósito de partículas	1	8921240.010.00.07	ASTM A-36	Ø900x501x2 mm	PINTADO
10	Junta de expansión	1	EJMA	HULE NATURAL	Ø609x254 mm	SIN TENSORES
9	Louvers	2	8921240.010.00.06	ASTM A-36	1891x1281x152 mm	PINTADO
8	Soportes	1	8921240.010.00.05	ASTM A-36	VARIOS	PINTADO
7	Ventilador centrífugo	1	AMCA	ACERO	1708x1610x1353 mm	GREENHECK
6	Ductos descarga de aire limpio	1	8921240.010.00.04	ASTM A-36	8603x4000x920 mm	PINTADO
5	Ciclón	1	8921240.010.00.02	ASTM A-36	7339x2060x1600 mm	PINTADO
4	Ductos de carga de aire contaminado	1	8921240.010.00.03	ASTM - 36	17240x5608x1010 mm	PINTADO
3	Vigas de techo	1	NA	ASTM A-36	24000x8000x420 mm	CONSTRUIDO
2	Campana de captación	1	8921240.010.00.01	ASTM A-36	1086x1086x419 mm	PINTADO
1	Cabina de pintura	1	NA	MIXTO	24000x8000x7000m m	CONSTRUIDO
Ítem	Denominación	Cant.	Norma	Material	Dimensiones	Observaciones
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	Dibujó: Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE PARTÍCULAS PARA CABINA DE PINTURA			Escala: 1:60	Diseñó: Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
				Revisó: Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
				8921240.010.00	Tol. Gral: +/- 1	



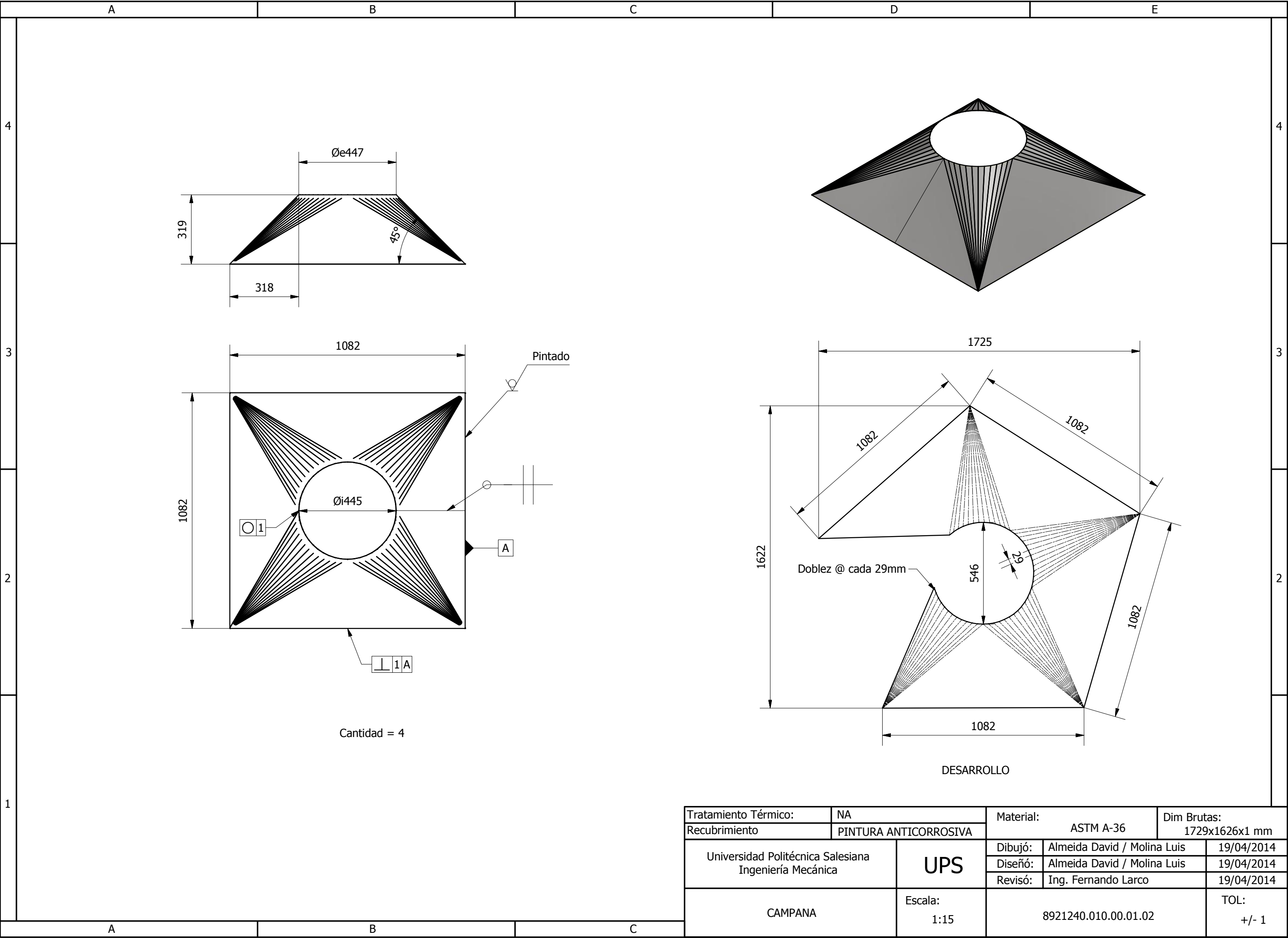
NOTA:
4 unidades

3	Faldón	2	10.8921240.00.01 .03	ASTM A-36	4338x55x1 mm	PINTADO
2	Campana	1	10.8921240.00.01 .02	ASTM A-36	1729x1626x1 mm	PINTADO
1	Cuello	1	10.8921240.00.01 .01	ASTM A-36	1415x55x1 mm	PINTADO
Ítem	Denominación	Cant.	Norma	Material	Dimensiones	Observaciones
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA			UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
CAMPANA DE CAPTACIÓN			Escala: 1:15	8921240.010.00.01		Tol. Gral: +/-1

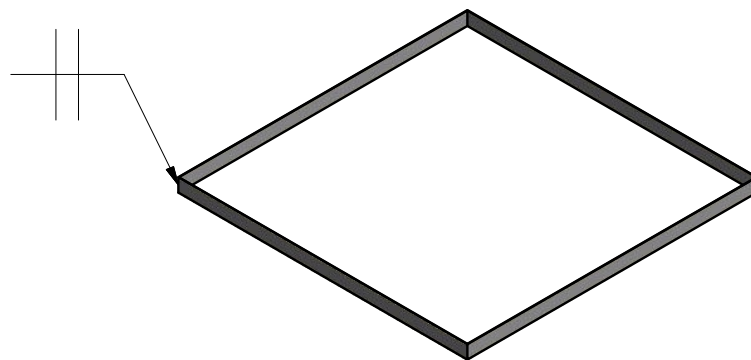
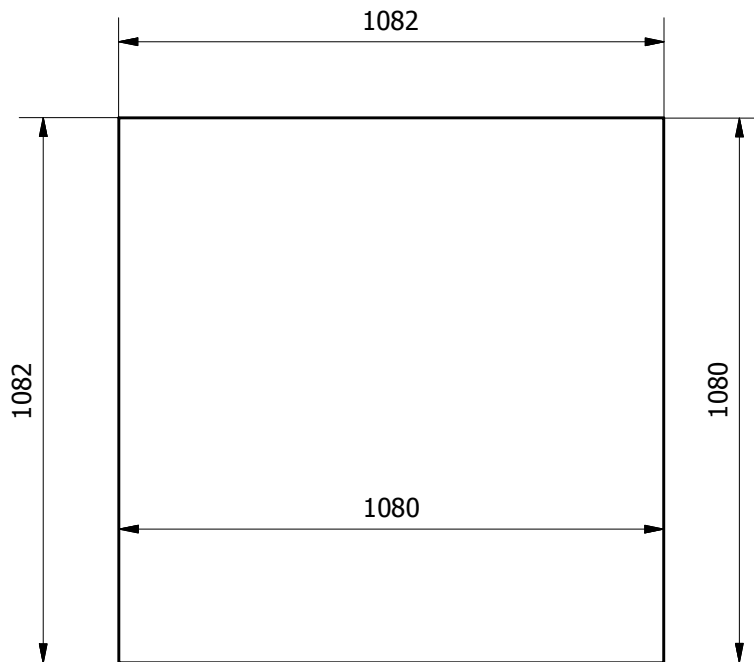
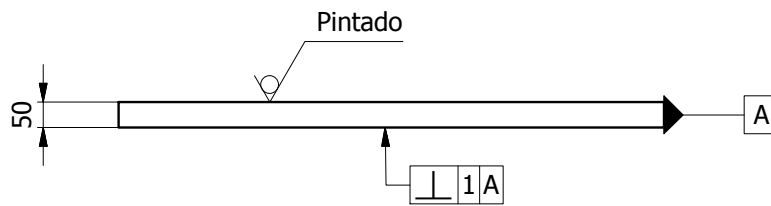


Cantidad = 4

Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				1415x55x1 mm
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
CUELLO		Escala:	8921240.010.00.01.01		TOL:
		1:20			+/- 1

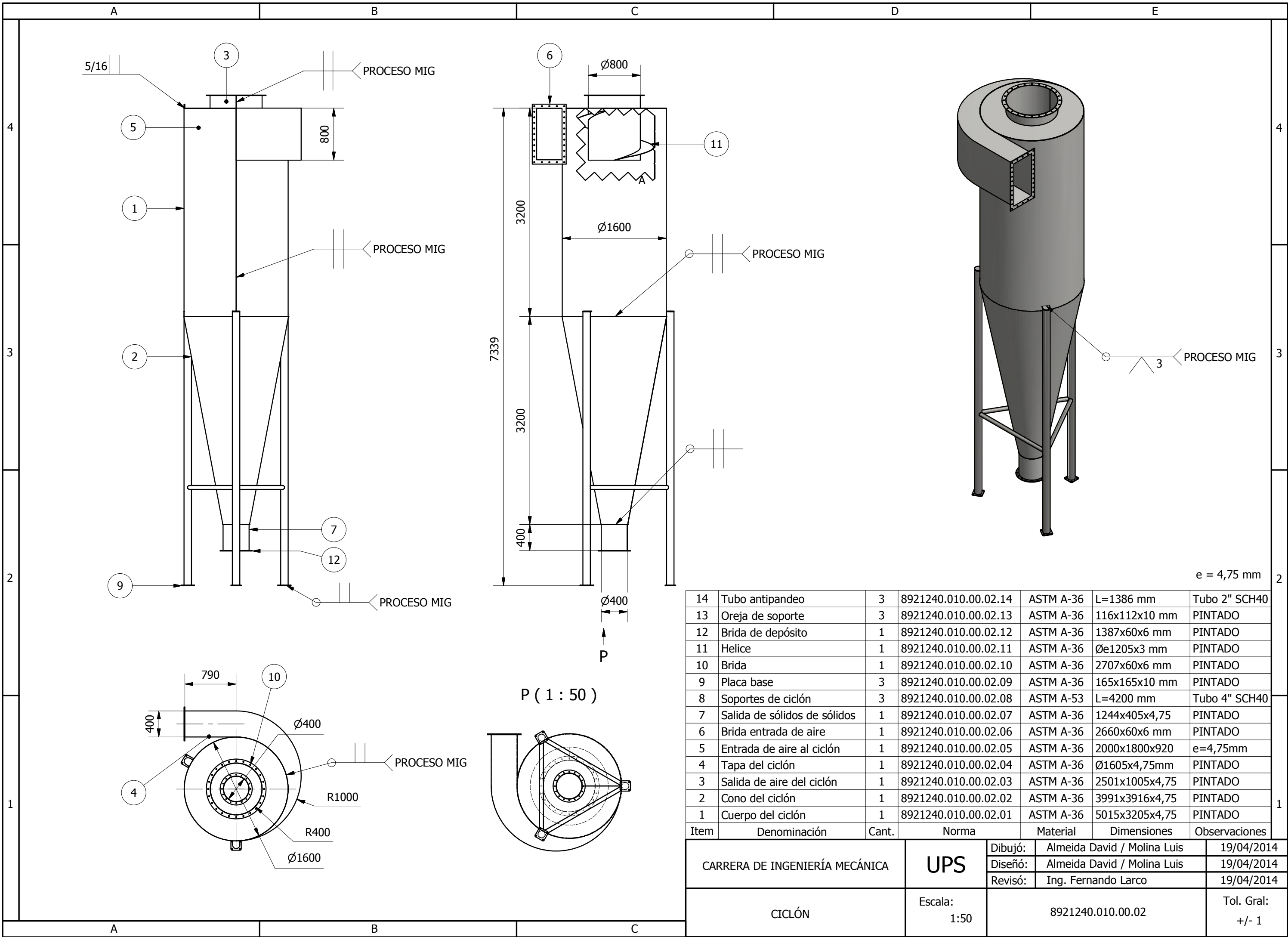


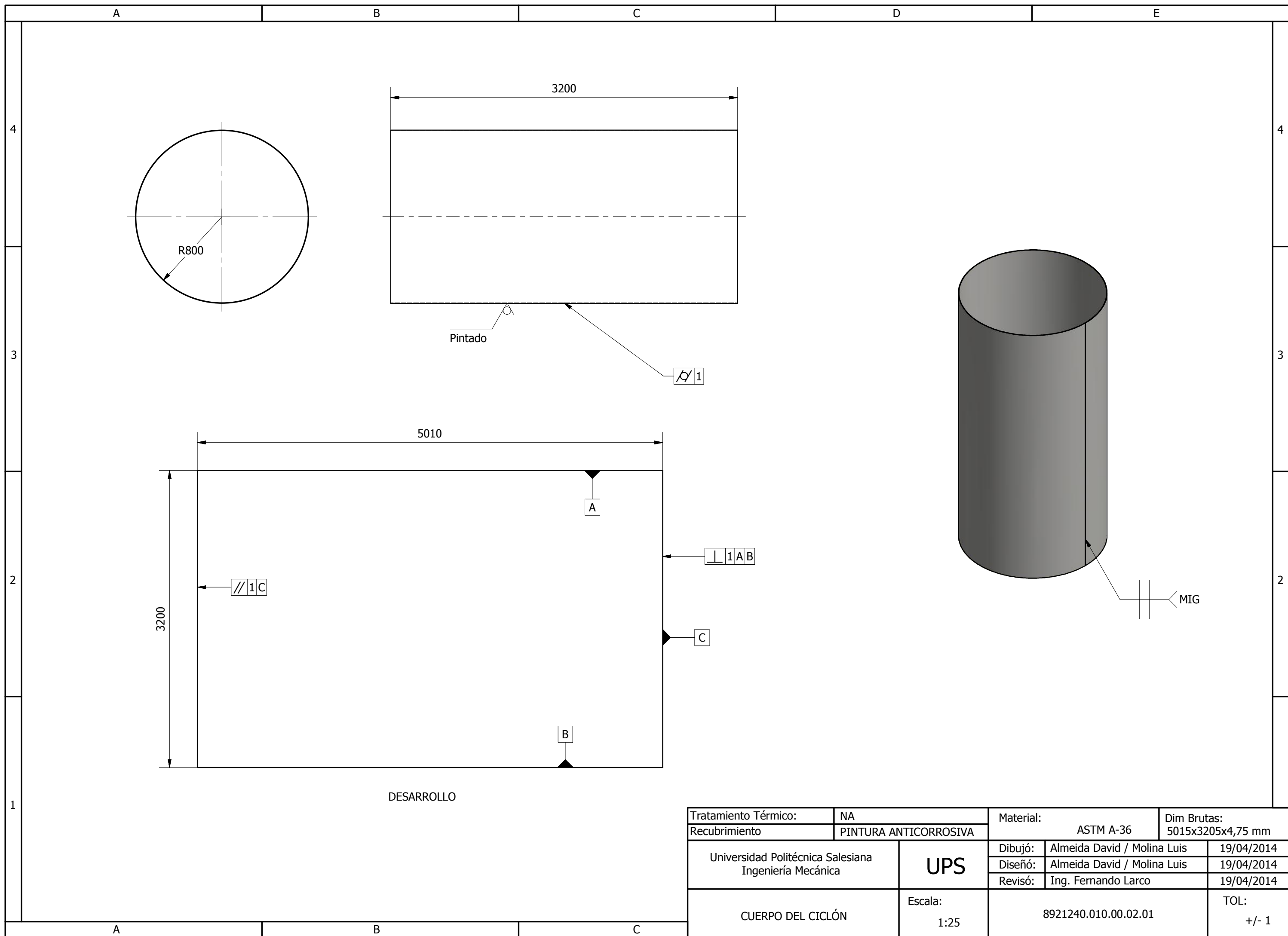
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas: 1729x1626x1 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
			Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
			Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
CAMPANA		Escala: 1:15	8921240.010.00.01.02		TOL: +/- 1

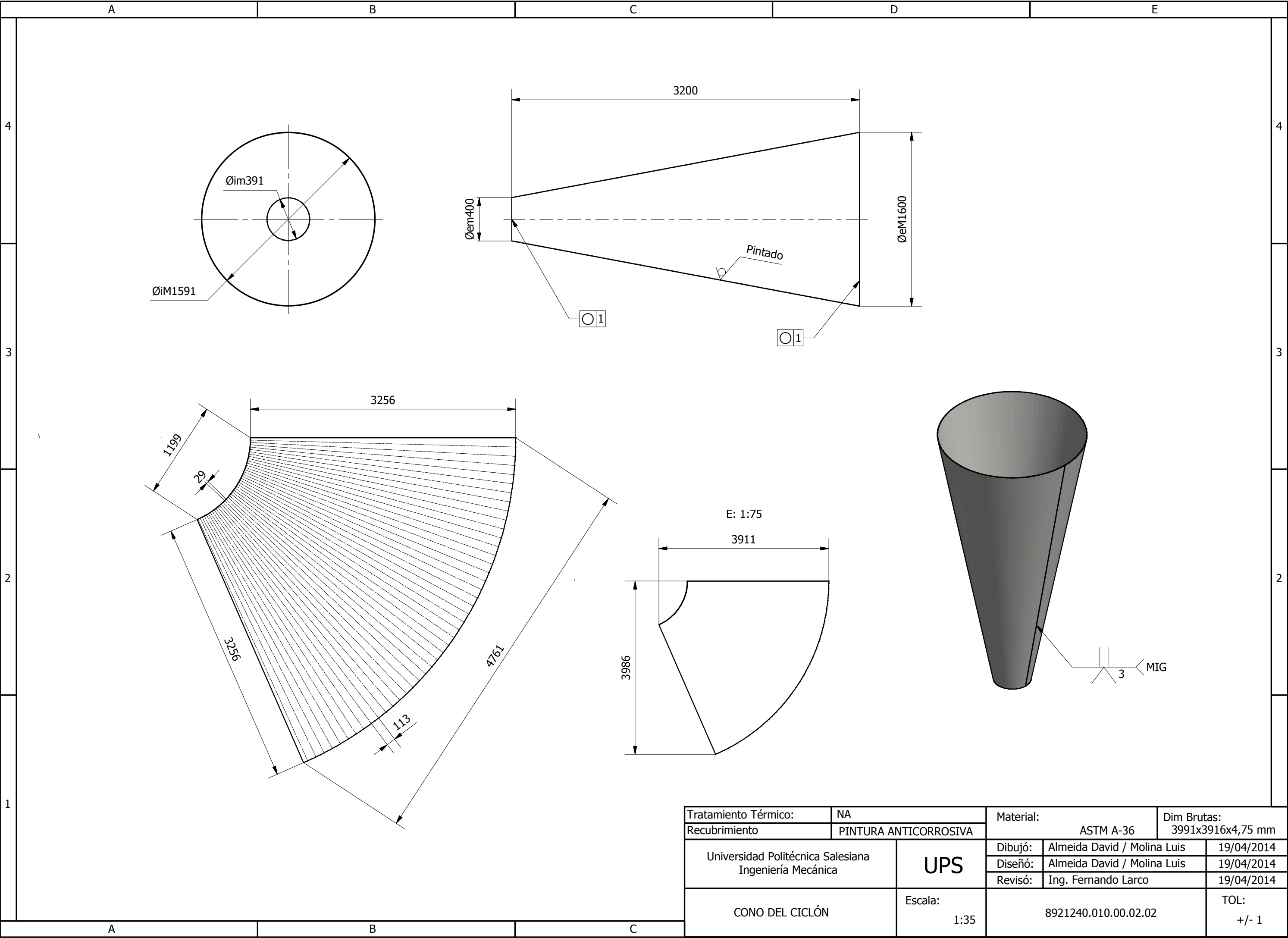


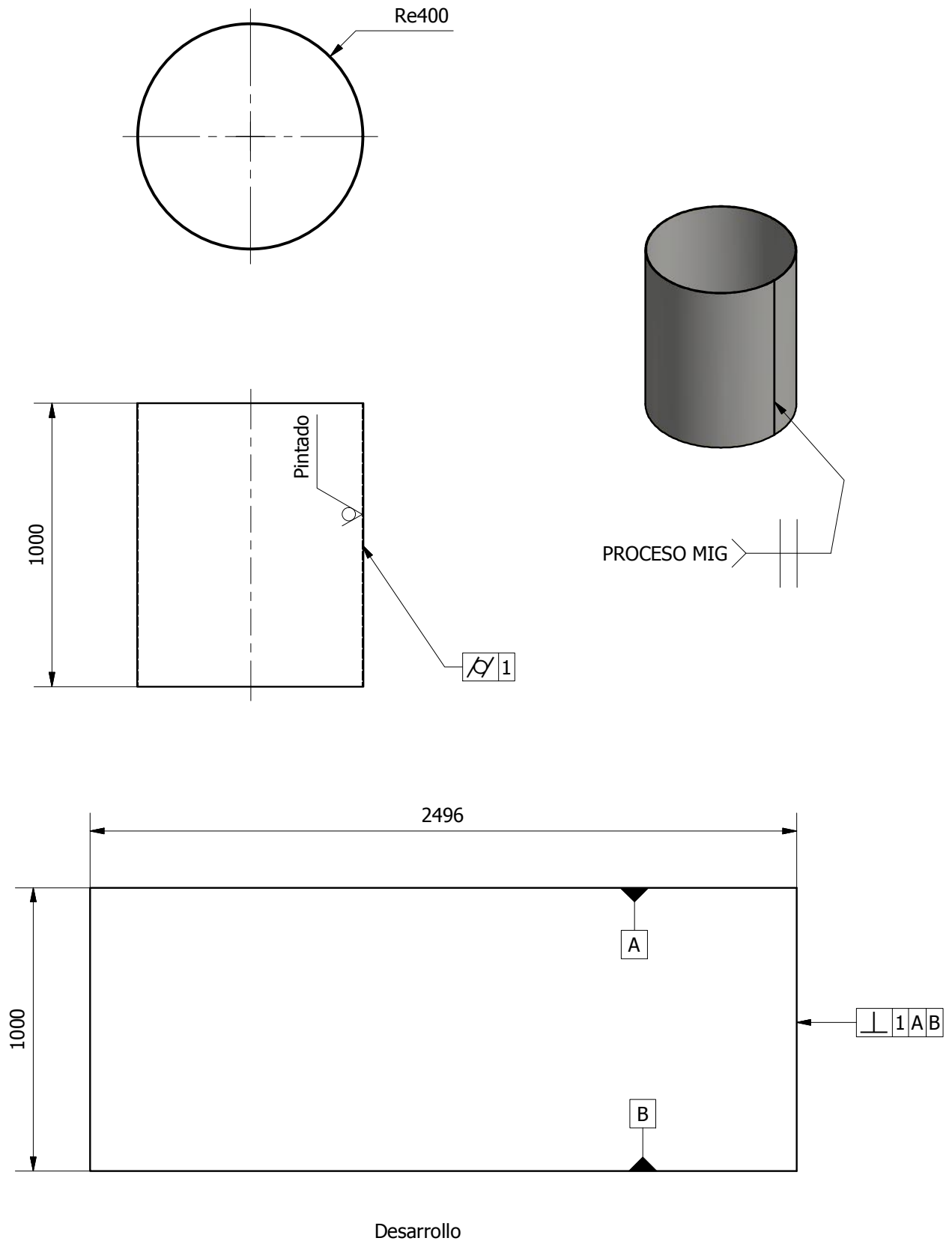
4 Unidades
Espesor 1mm

Tratamiento Térmico:	NA	Material:		Dim Brutas:		
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA					
		ASTM A-36		4338x50x1 mm		
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		UPS		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
FALDÓN		Escala: 1:20	8921240.010.00.01.03			TOL: +/- 1

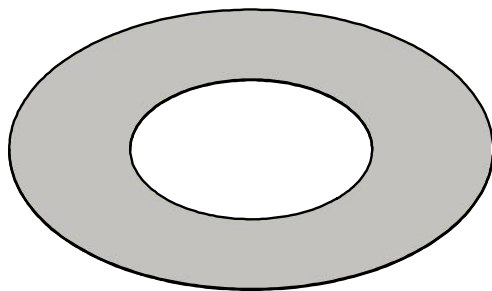
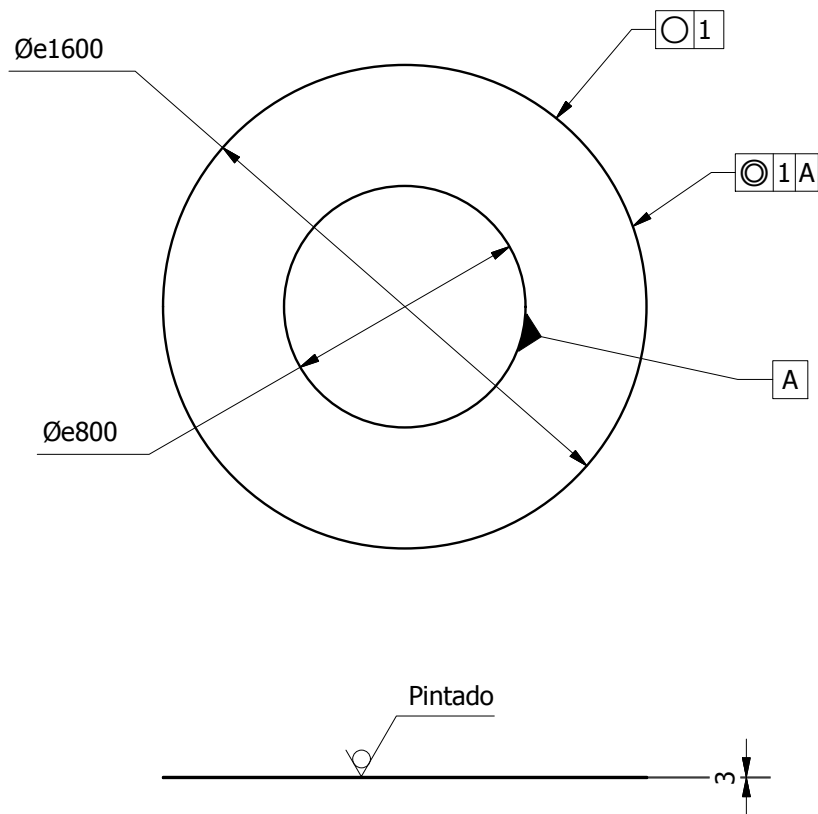




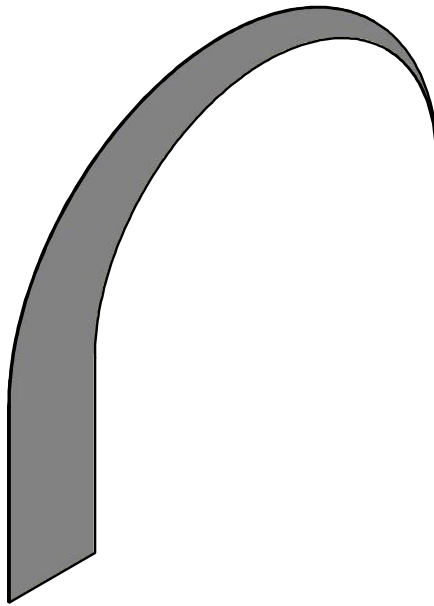
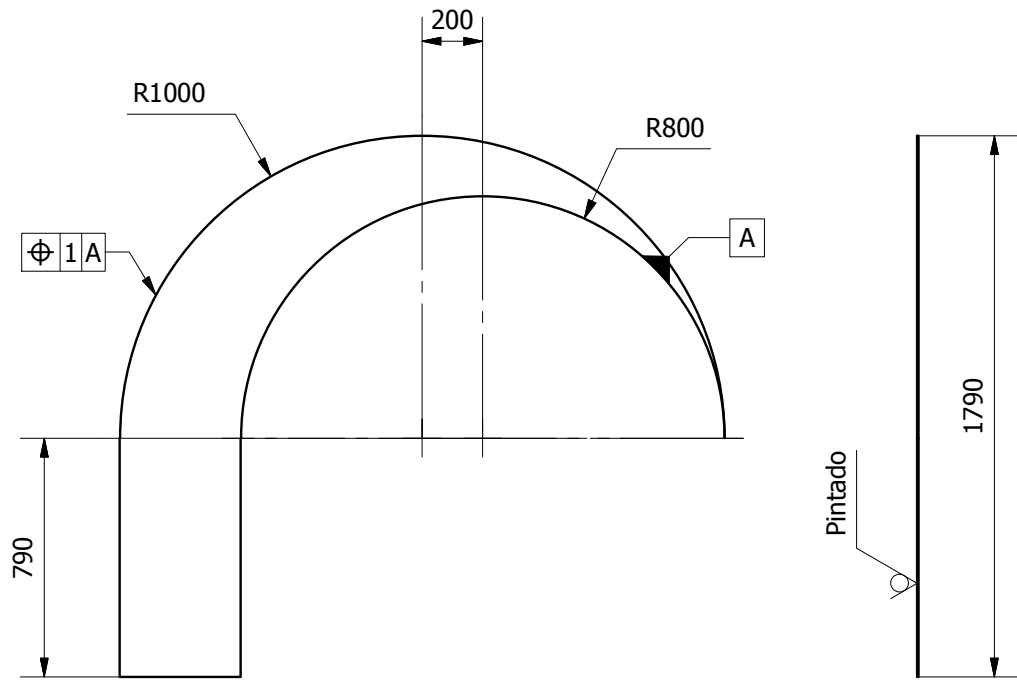




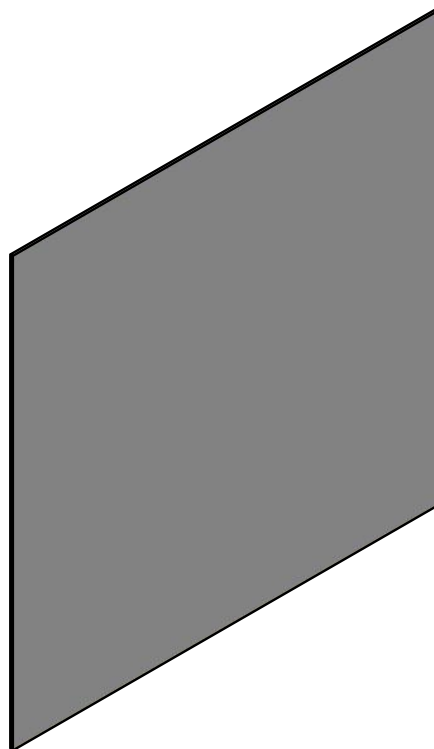
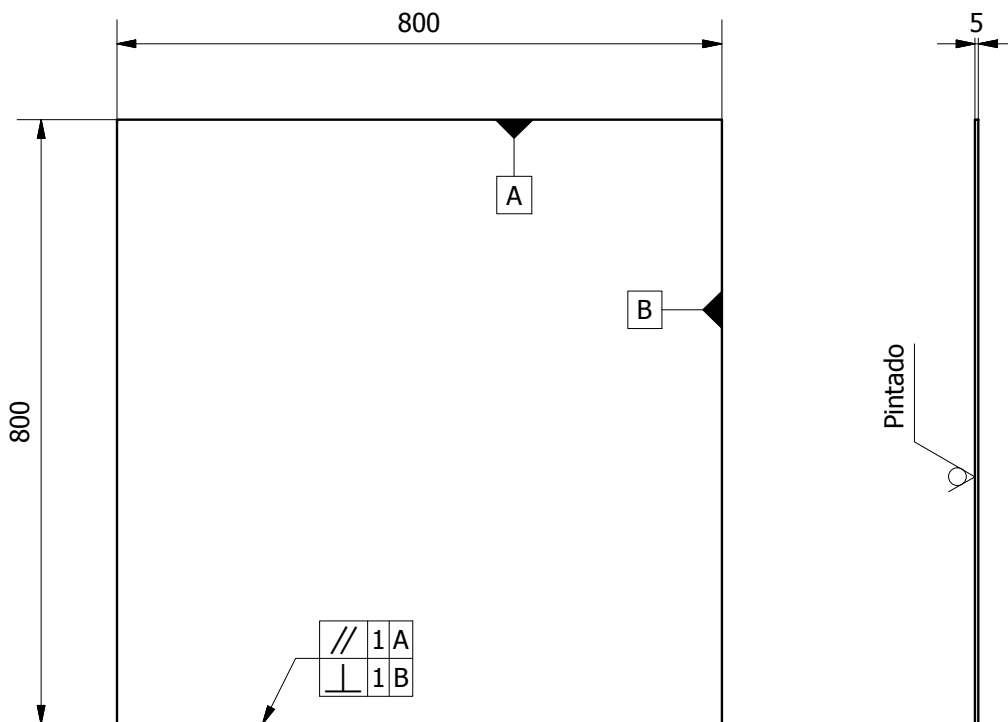
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	2501x1005x4,75 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
SALIDA DE AIRE DE CICLÓN	Escala: 1:20	8921240.010.00.02.03			TOL: +/- 1



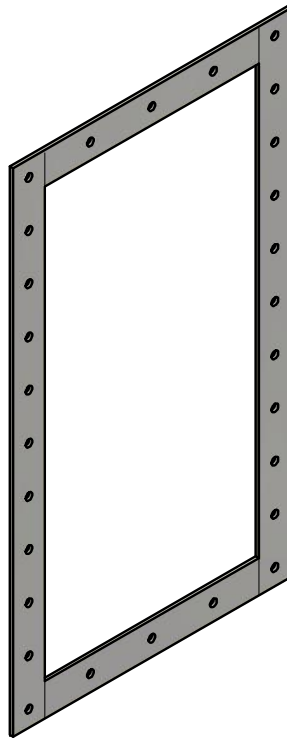
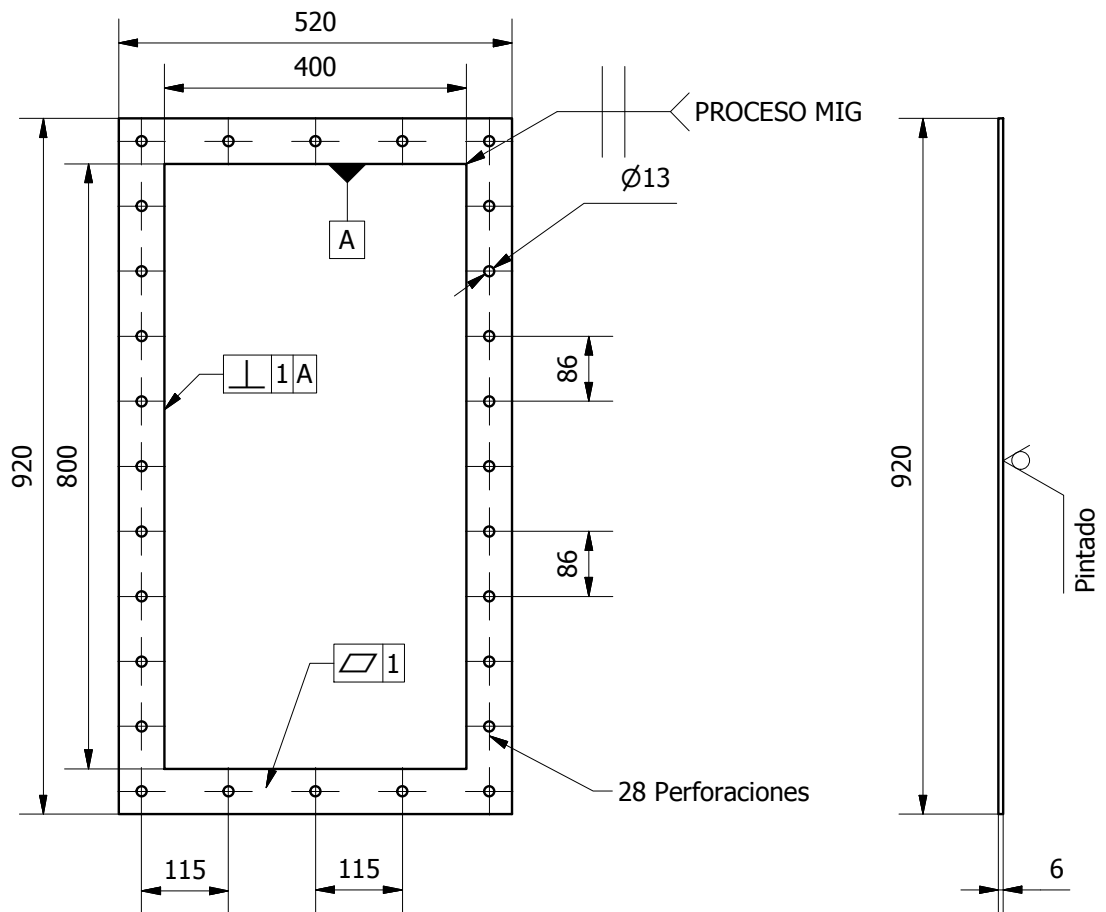
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				$\varnothing 1605 \times 4,75 \text{ mm}$
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
TAPA DEL CICLÓN		Escala:	8921240.010.00.02.04		TOL:
		1: 20			+/-1



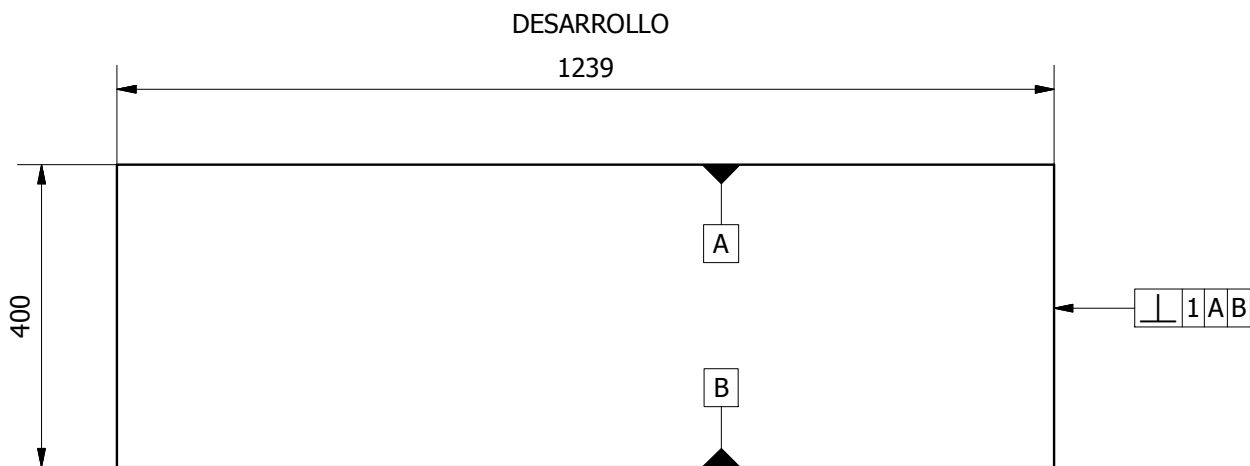
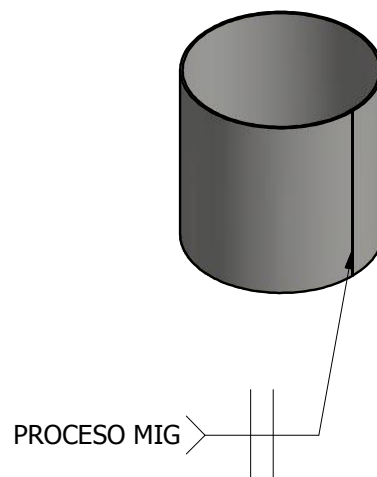
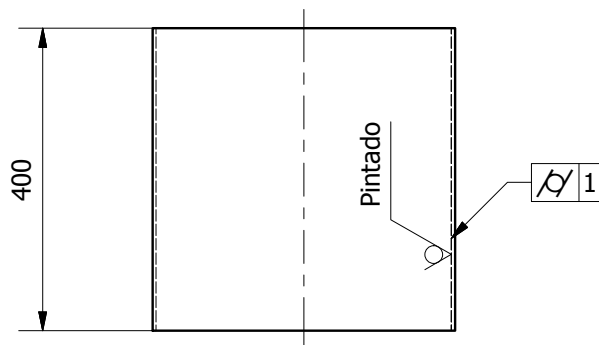
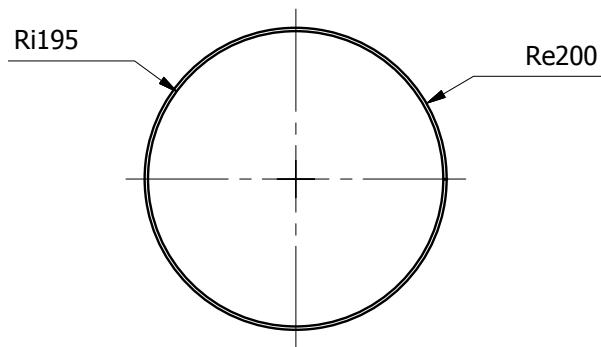
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:	2005x1795x4,57 mm	
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA						
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		UPS		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
				Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
ENTRADA DE AIRE DEL CICLÓN PARTE 2		Escala: 1:35		8921240.010.00.02.05.02		TOL: +/- 1	



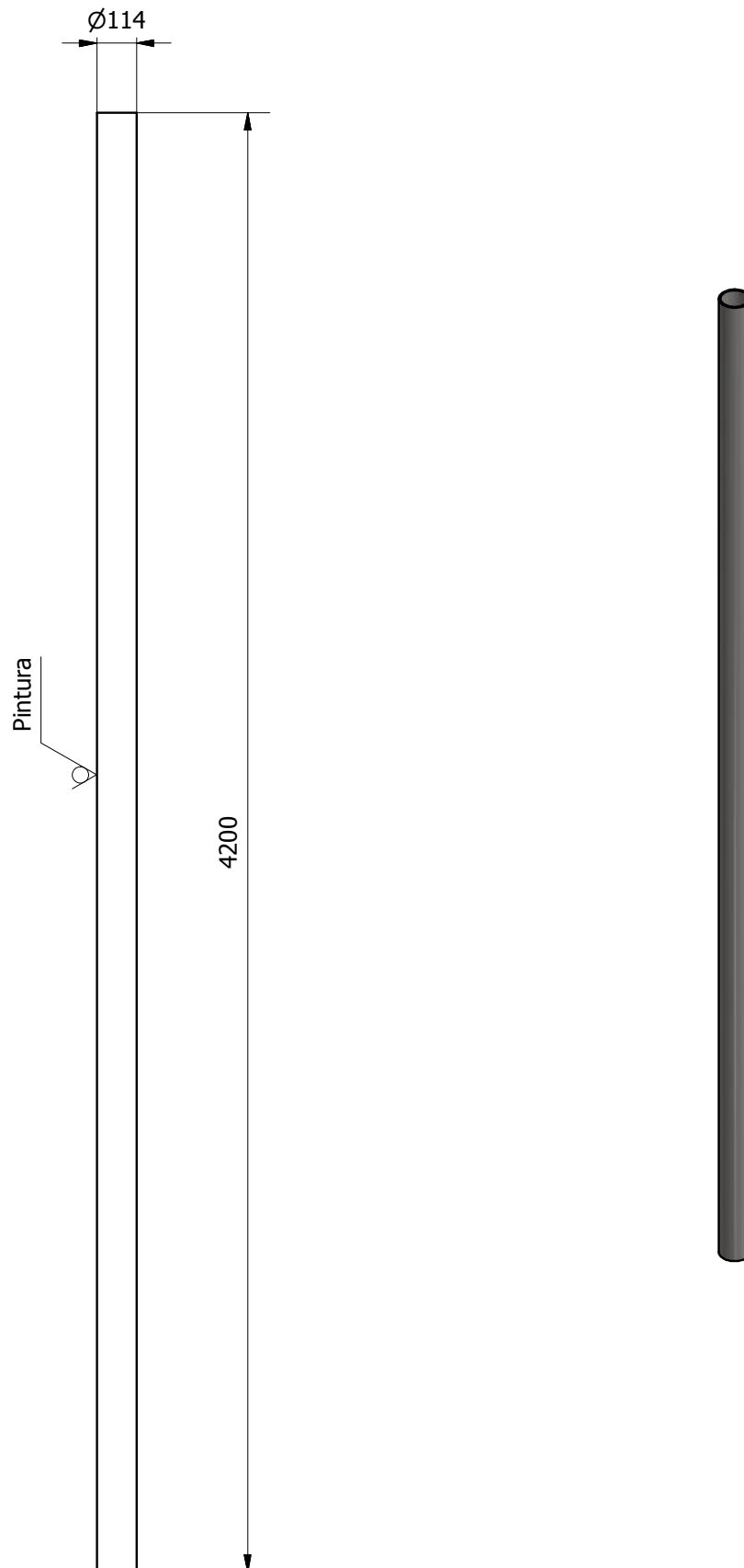
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	805x805x4,57 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
ENTRADA DE AIRE DEL CICLÓN PARTE 3	Escala: 1:35	8921240.010.00.02.05.03			TOL: +/- 1



Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	2660x60x6 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
BRIDA ENTRADA DE AIRE	Escala: 1:10	8921240.010.00.02.06			TOL: +/- 1

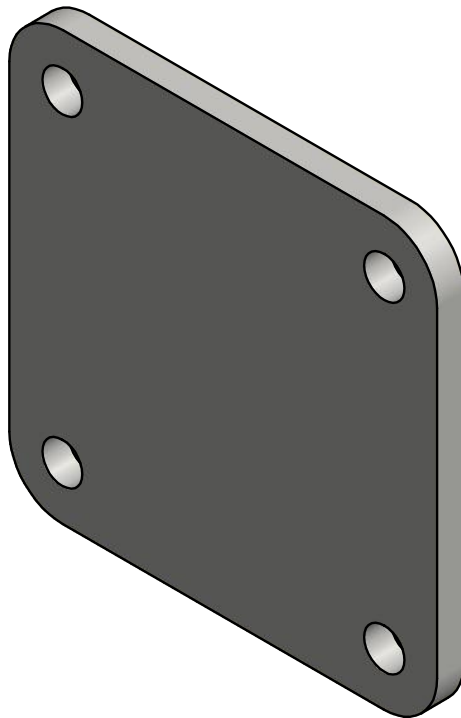
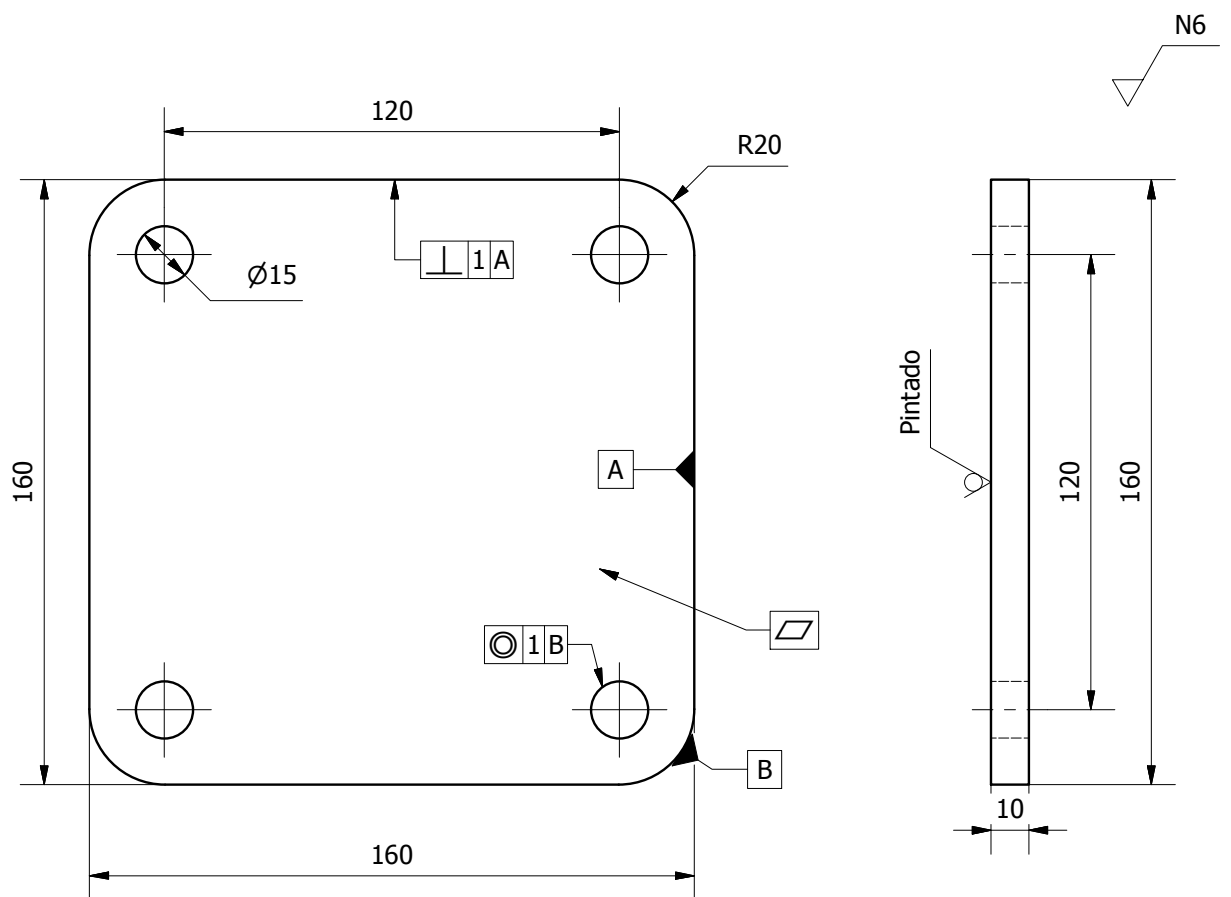


Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:	1244x405x4,75 mm	
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA						
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		UPS		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
				Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
SALIDA DE SÓLIDOS DEL CICLÓN		Escala:	1:10		8921240.010.00.02.07		TOL: +/- 1

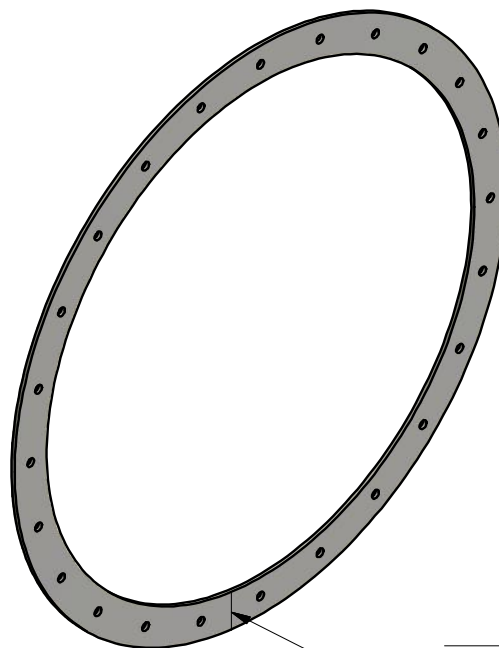
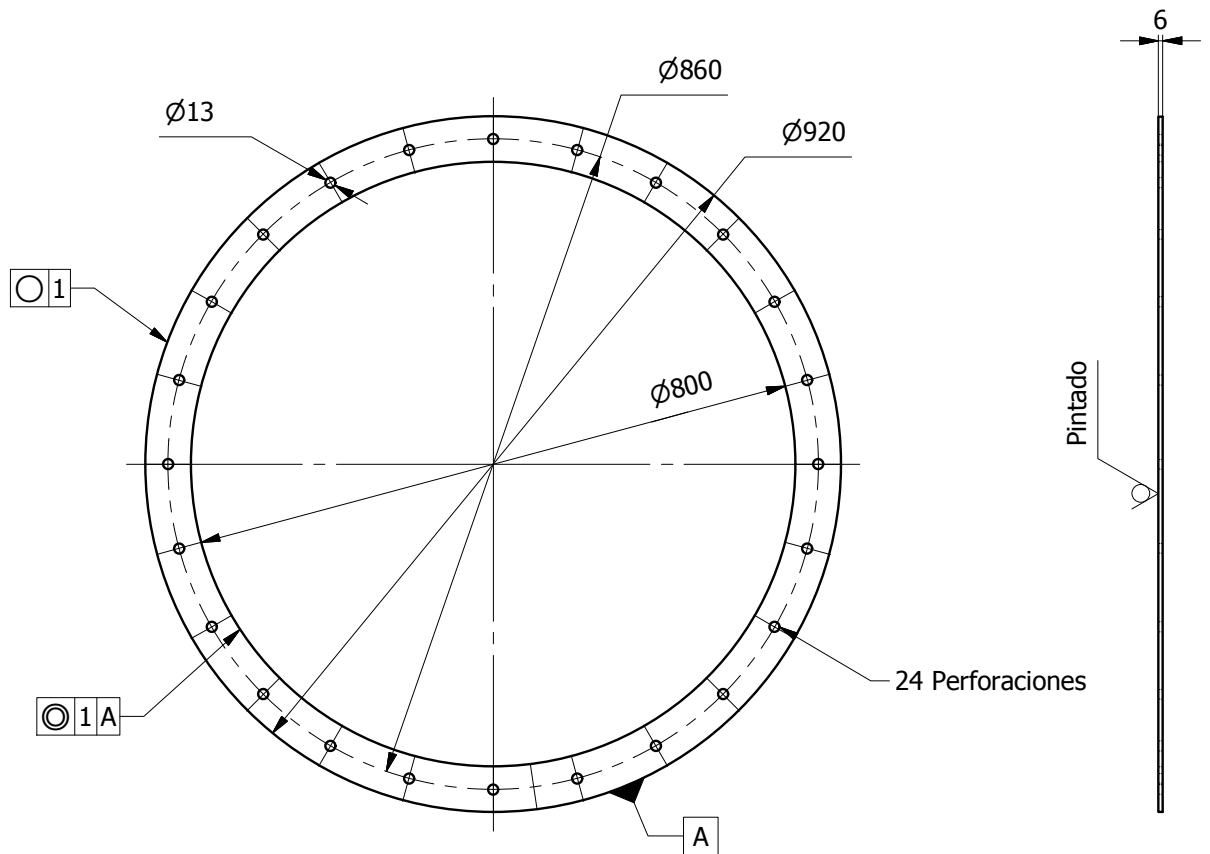


3 Unidades

Tratamiento Térmico:	NA	Material: ASTM A-36		Dim Brutas:		
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA			TUBO Ø4" SCH 40 L=4200mm		
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		UPS		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
SOPORTES DE CICLÓN		Escala: 1:25	8921240.010.00.02.08			TOL: +/- 1

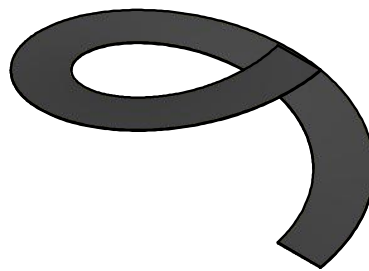
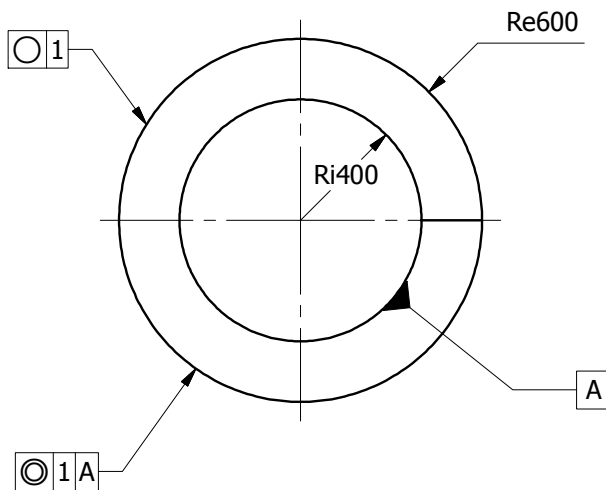
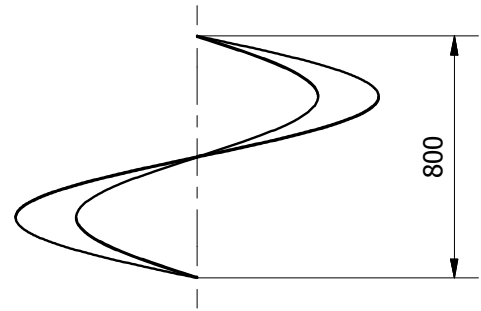
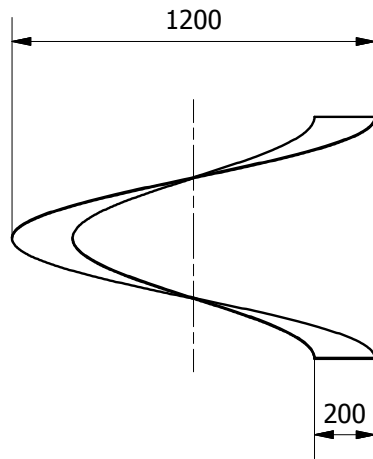


Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				165 x 165 x 10 mm
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
PLACA BASE		Escala:	8921240.010.00.02.09		TOL:
		1:2			+/- 1

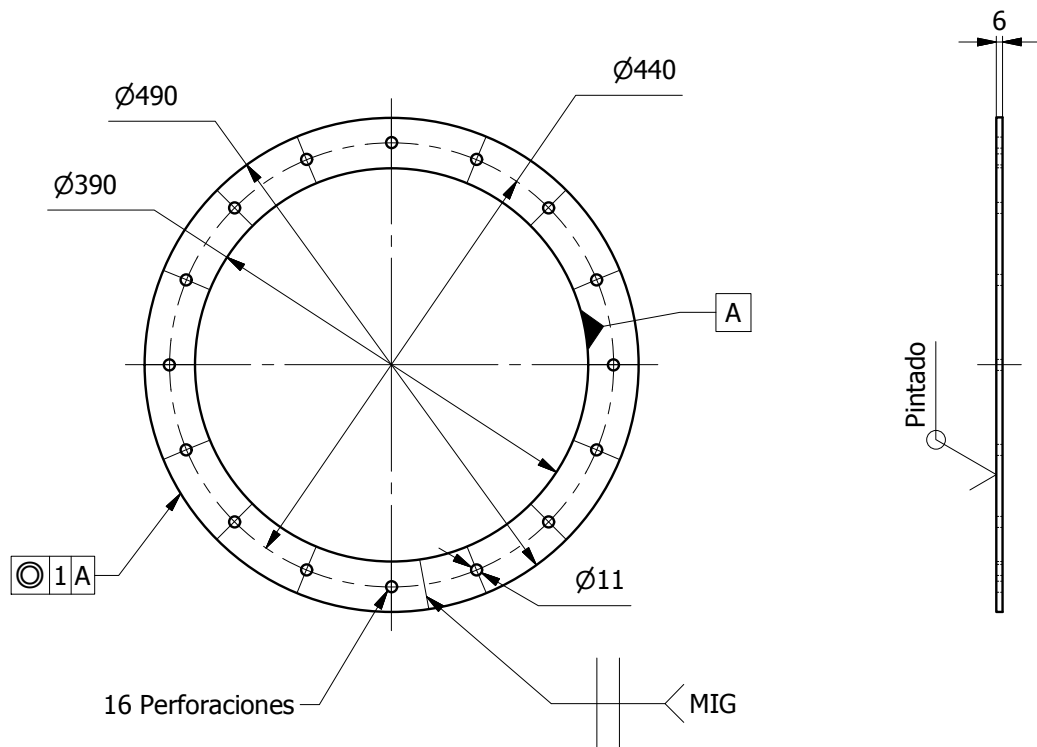


PROCESO MIG

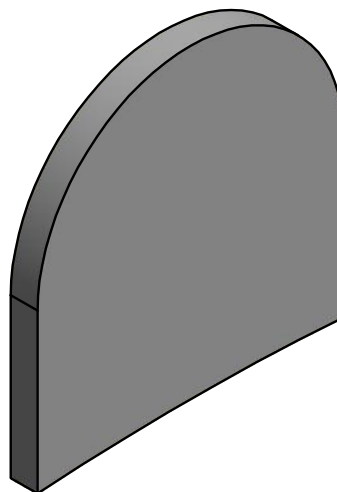
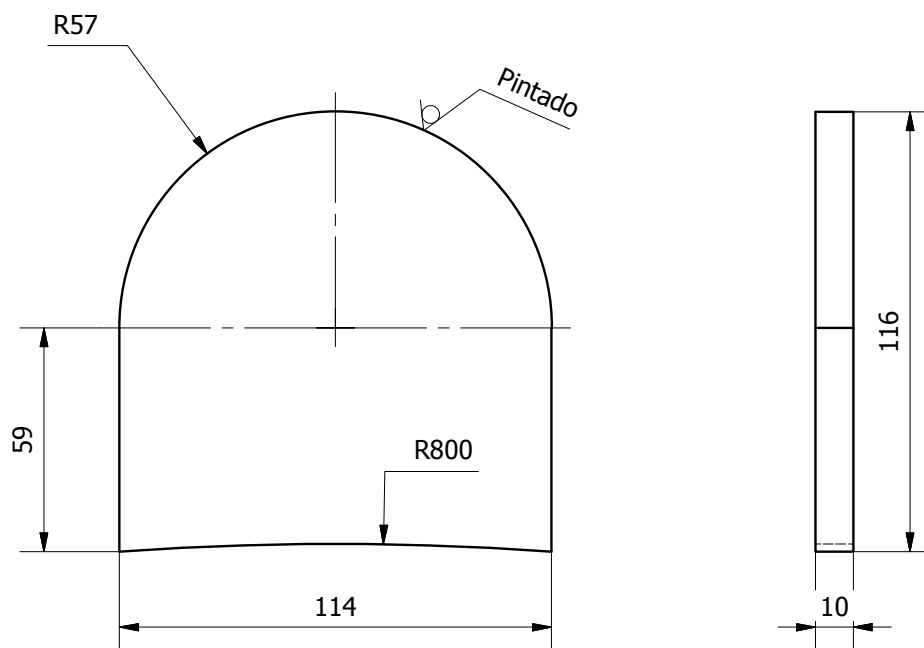
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	2707x60x6 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
BRIDA SALIDA DE AIRE DE CICLÓN	Escala: 1:10	8921240.010.00.02.10			TOL: +/- 1



Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	Ø1205x3 mm
Recubrimiento	NA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
HÉLICE	Escala: 1:25	8921240.010.00.02.11			TOL: +/- 1



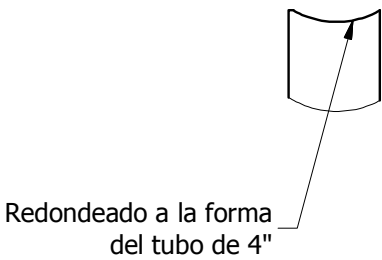
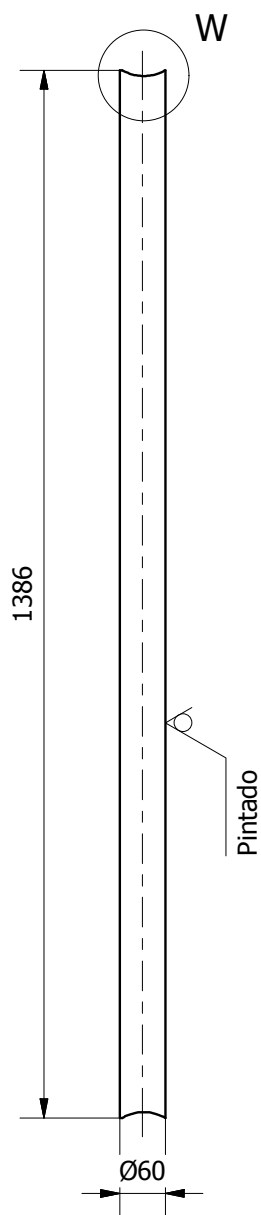
Tratamiento Térmico:	NA	Material: ASTM A-36		Dim Brutas: 1387x60x6 mm	
Recubrimiento	NA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis		19/04/2014
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis		19/04/2014
		Revisó:	Ing. Fernando Larco		19/04/2014
BRIDA DE DEPÓSITO	Escala: 1:25	8921240.010.00.02.12			TOL: +/- 1



3 Unidades

Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				116x112x10 mm
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
OREJA DE SOPORTES		Escala:	8921240.010.00.02.08		TOL:
		1:2			+/- 1

W (1 : 5)

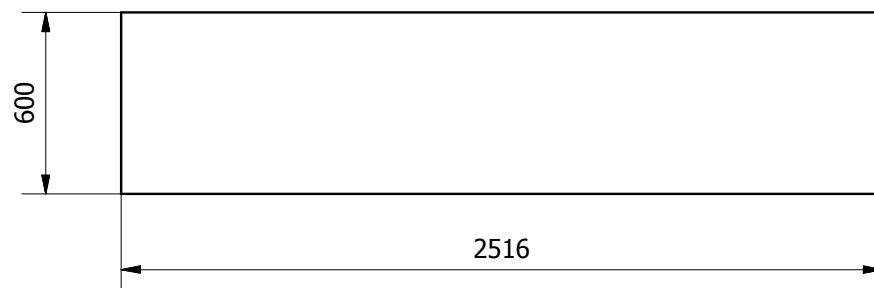
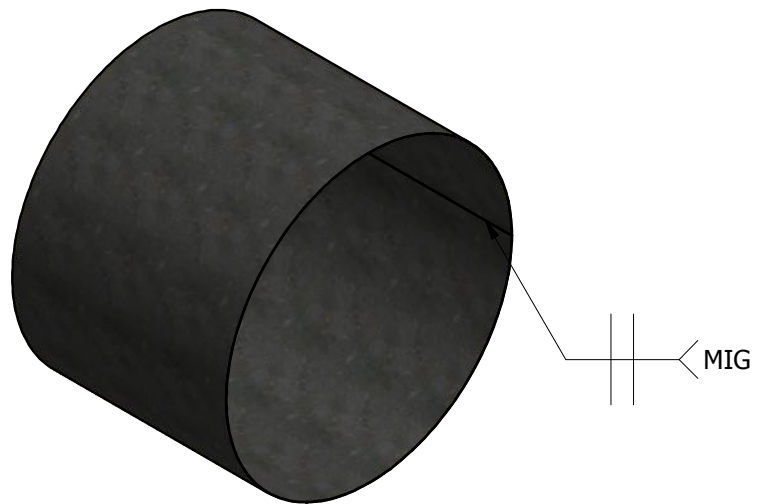
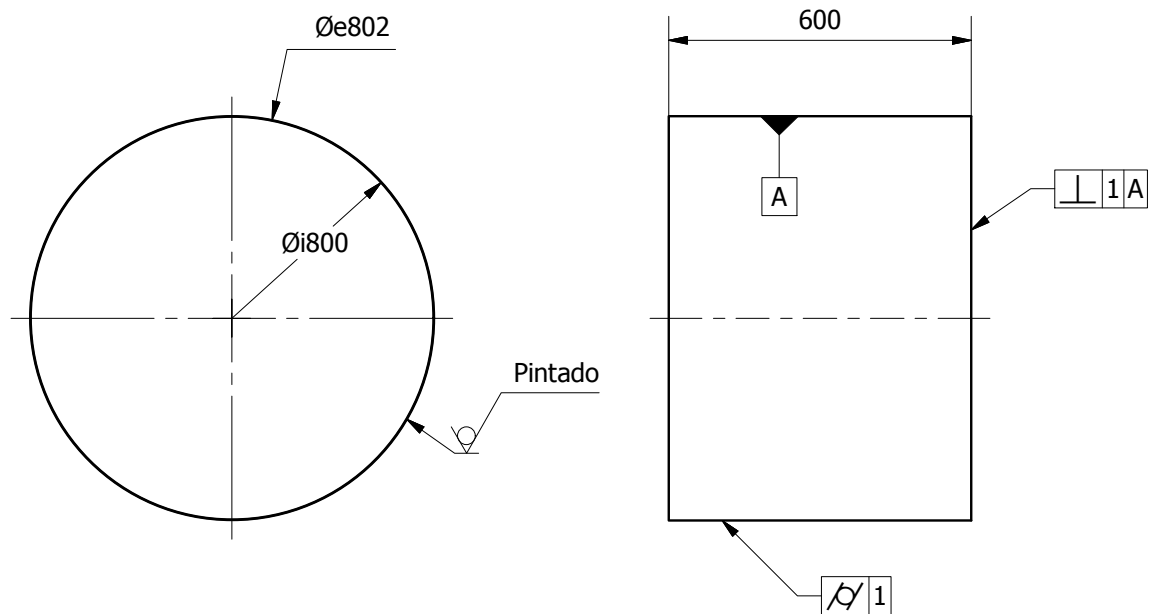


3 Unidades

Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	TUBO Ø2" SCH 40 L=1386mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
TUBO ANTIPANDEO	Escala: 1:10	8921240.010.00.02.14			TOL: +/- 1

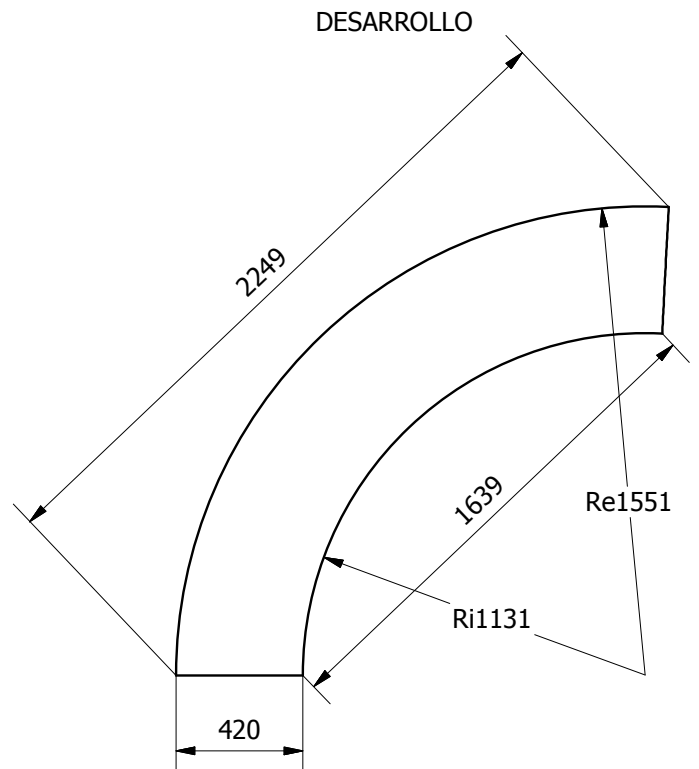
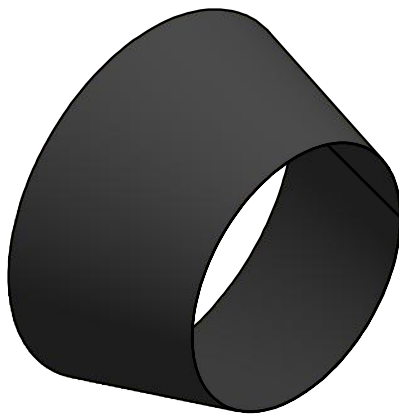
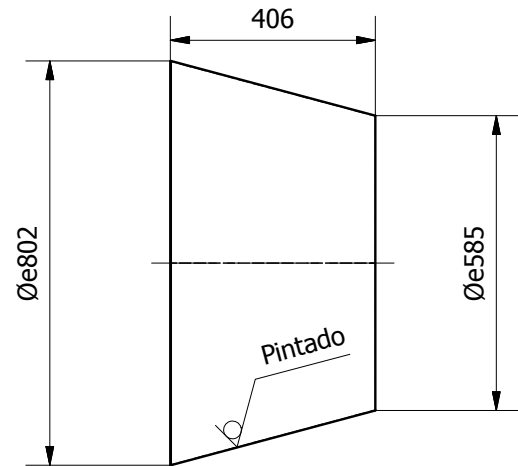
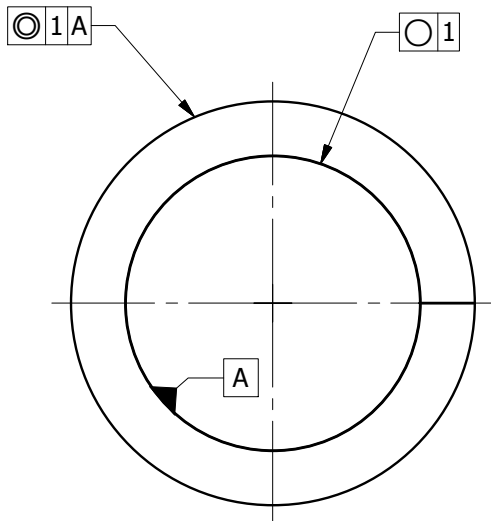


Tratamiento Térmico:	NA	Material: ASTM A-36		Dim Brutas: 4713x2521x1 mm	
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
			Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
			Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
DUCTO 6		Escala: 1:30	8921240.010.00.03.02		TOL: +/- 1



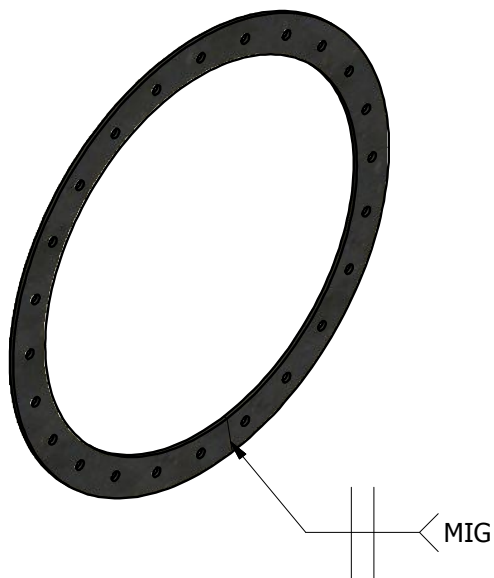
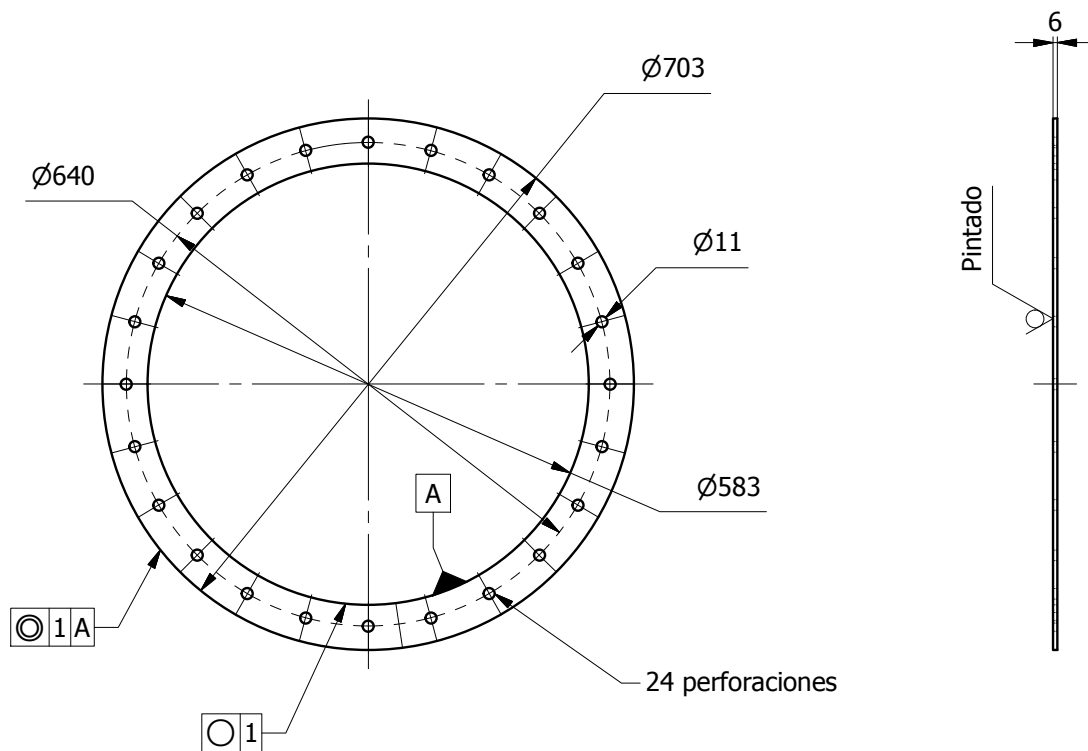
DESARROLLO
E. 1:25

Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				2521x605x1 mm
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
			Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
			Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
DUCTO 7		Escala: 1:15	8921240.010.00.03.03		TOL: +/- 1

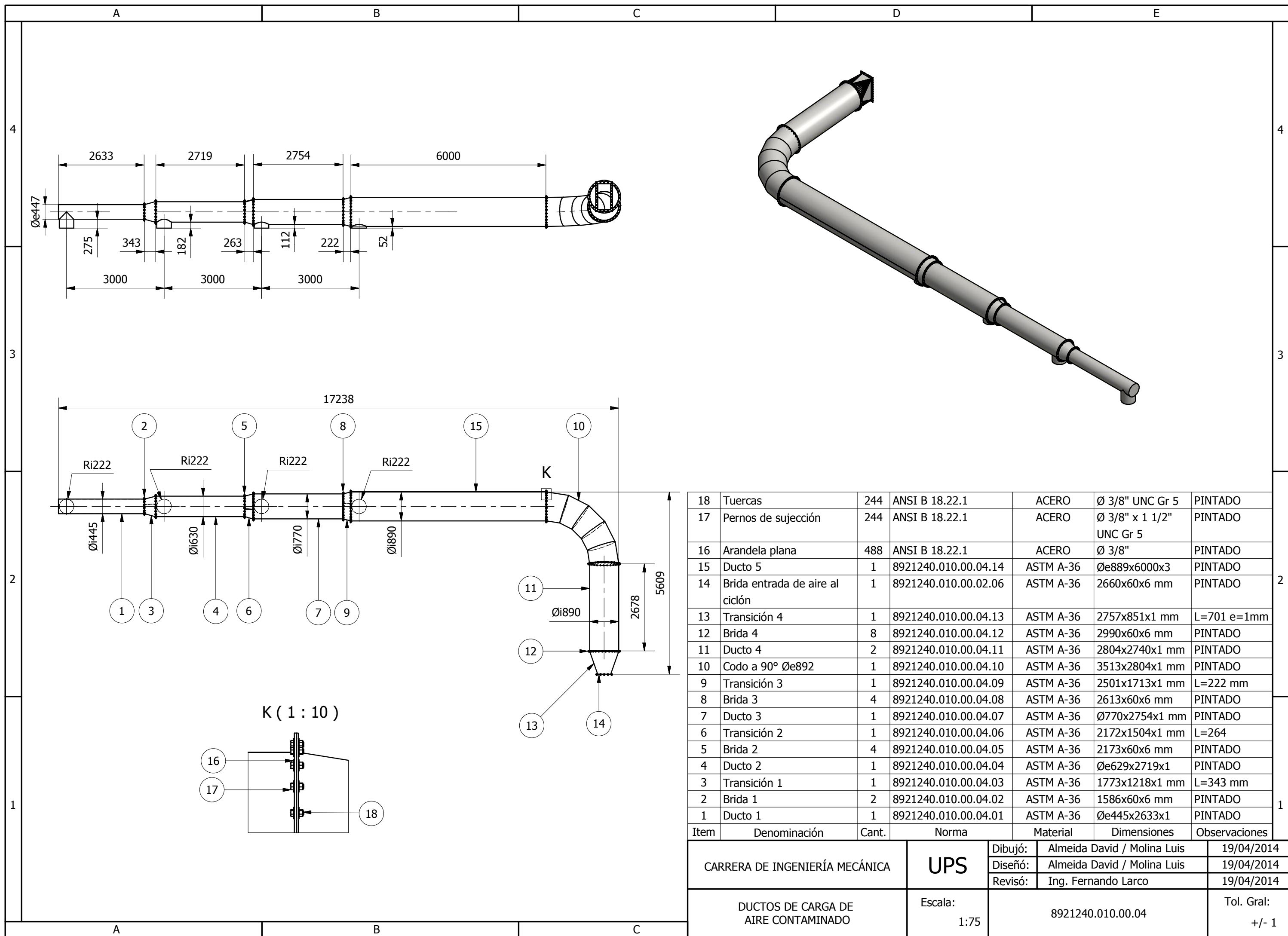


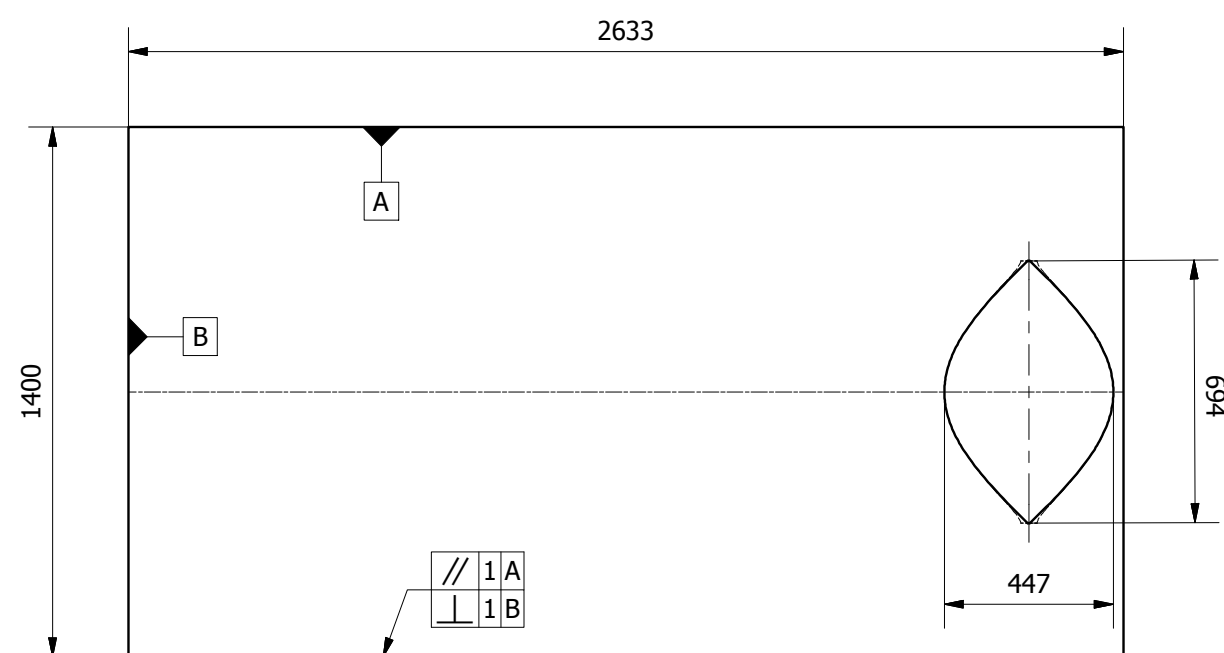
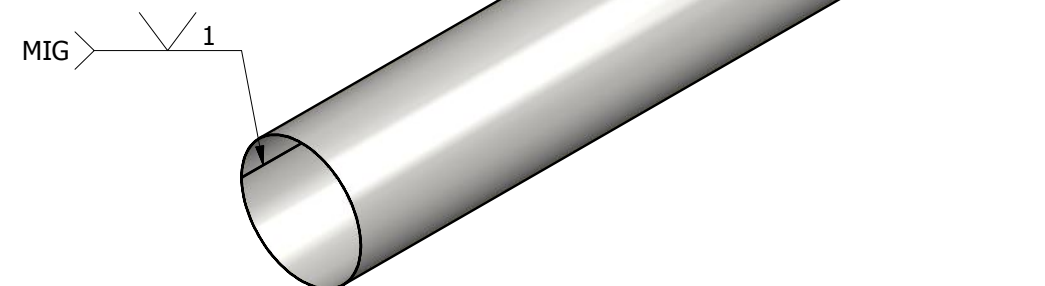
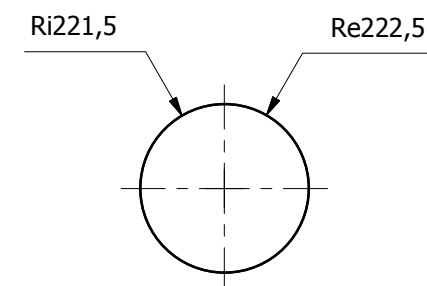
Espesor 1 mm

Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				2254x1556x1 mm
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
TRANSICIÓN 5		Escala:	8921240.010.00.03.04		TOL:
		1:30			+/- 1

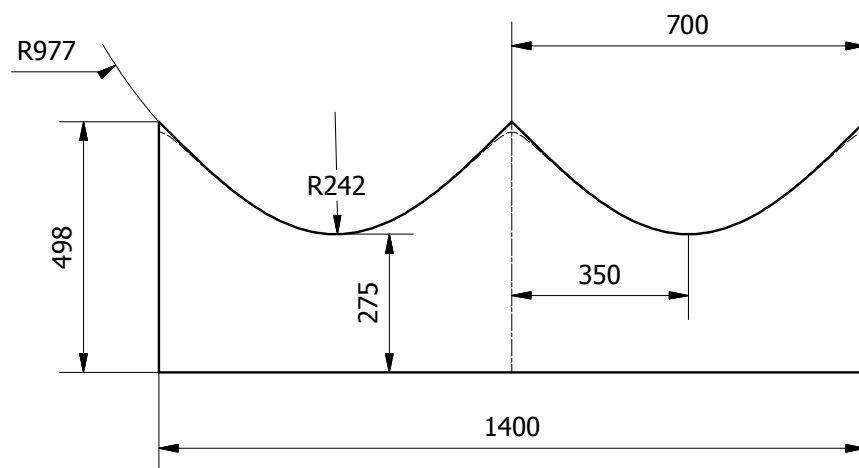
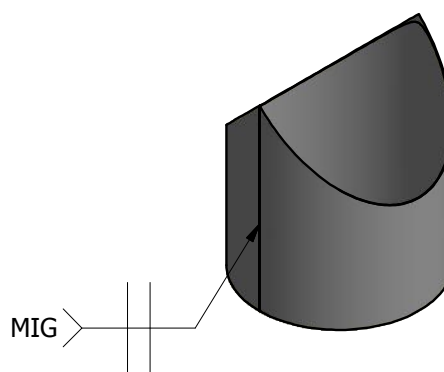
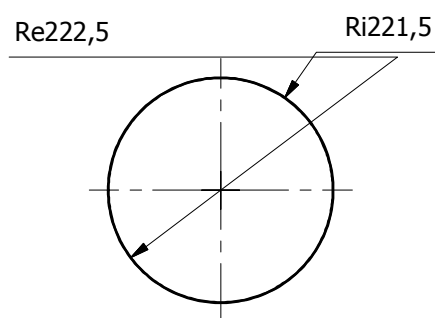
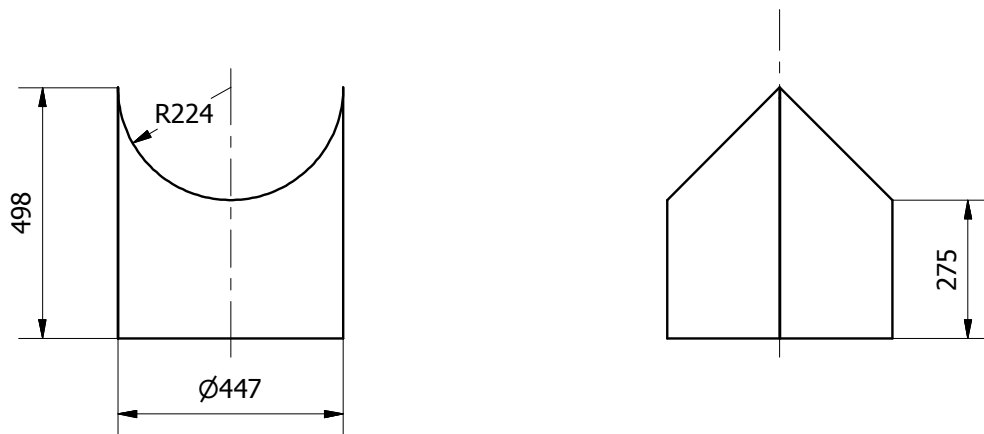


Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	2016x60x6 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
BRIDA A JUNTA DE EXPANSIÓN	Escala: 1:10	8921240.010.00.03.05			TOL: +/- 1



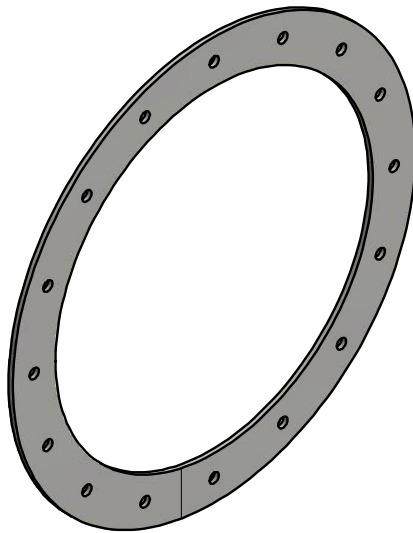
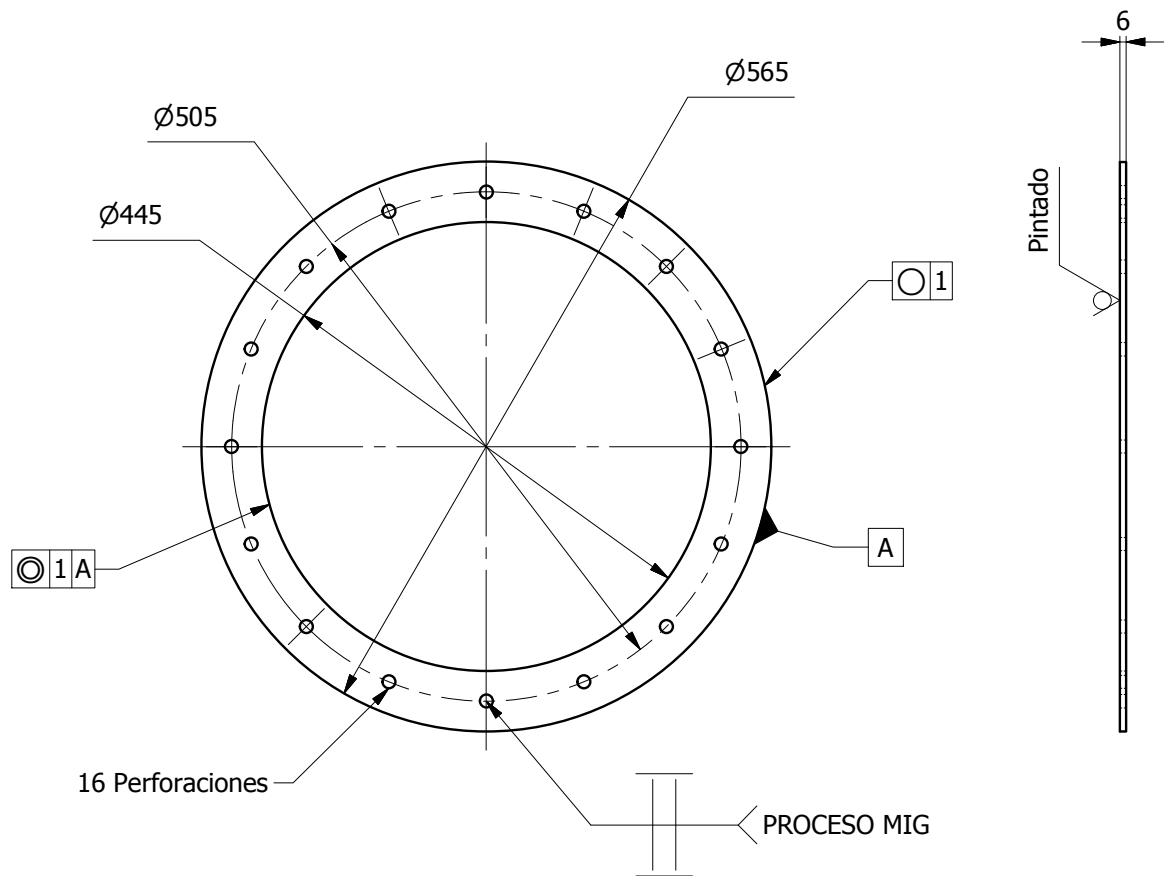


Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	2638x1405x1 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
<div> <div> <div>Universidad Politécnica Salesiana</div> <div>Ingeniería Mecánica</div> </div> <div> <div>UPS</div> </div> </div>		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
DUCTO PRINCIPAL 1	<div>Escala:</div> <div>1:20</div>	8921240.010.00.04.01.01			<div>TOL:</div> <div>+/- 1</div>

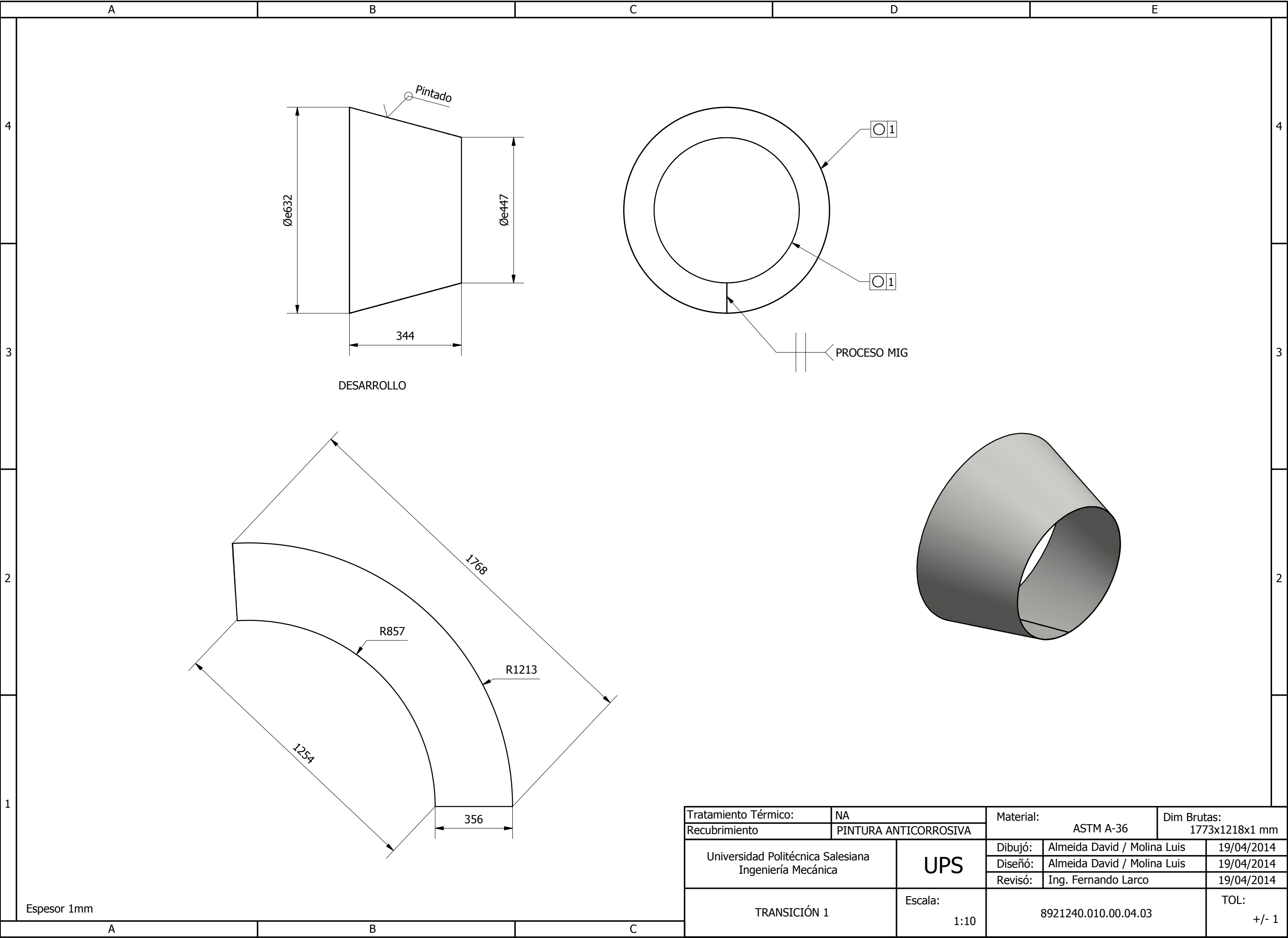


DESARROLLO

Tratamiento Térmico:	NA	Material:		ASTM A-36		Dim Brutas:		1405x503x1 mm	
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA								
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		UPS		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis			19/04/2014	
				Diseñó:	Almeida David / Molina Luis			19/04/2014	
				Revisó:	Ing. Fernando Larco			19/04/2014	
DUCTO SECUNDARIO 1		Escala:		8921240.010.00.04.01.02				TOL:	
		1:15						+/- 1	

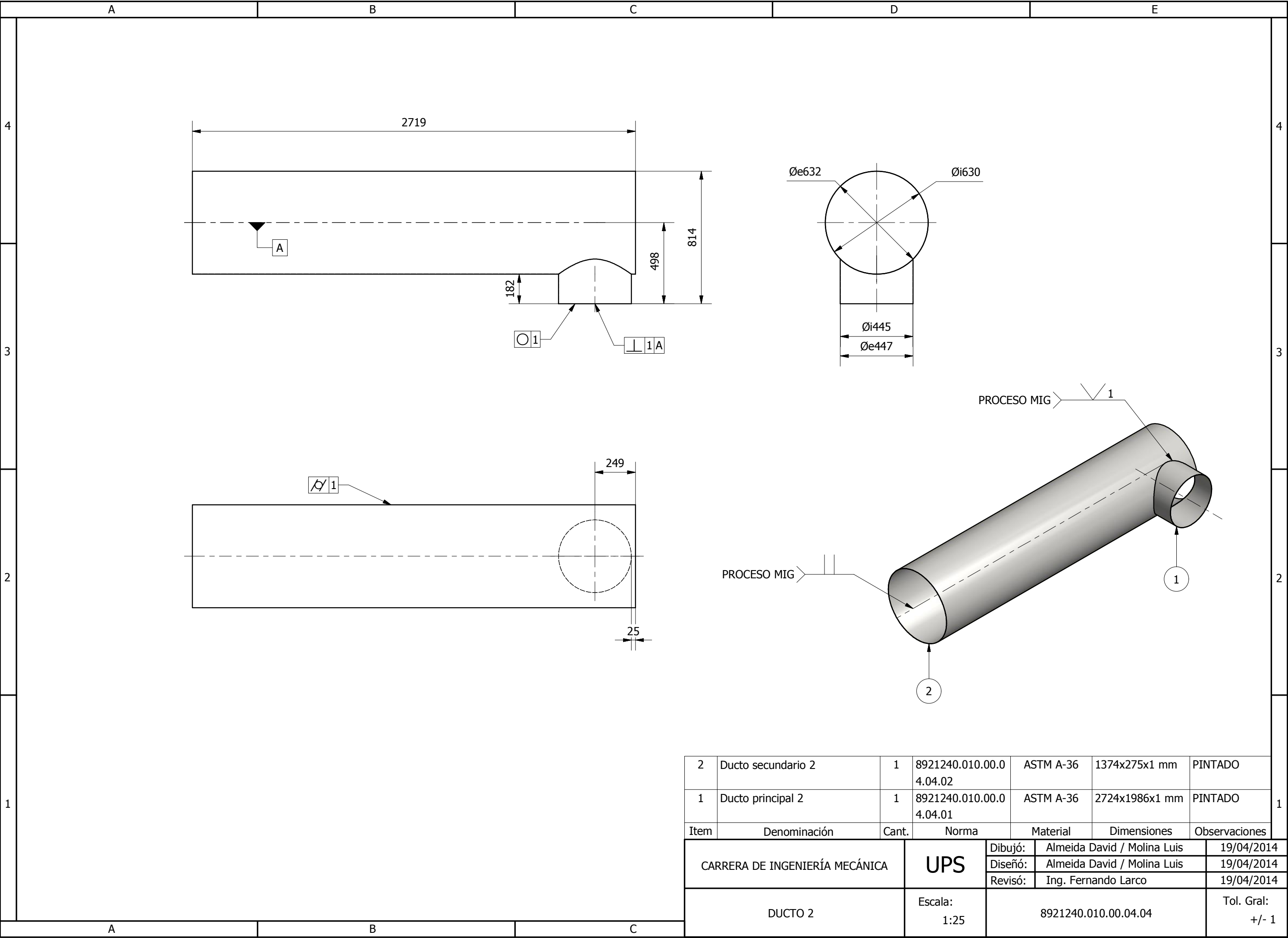


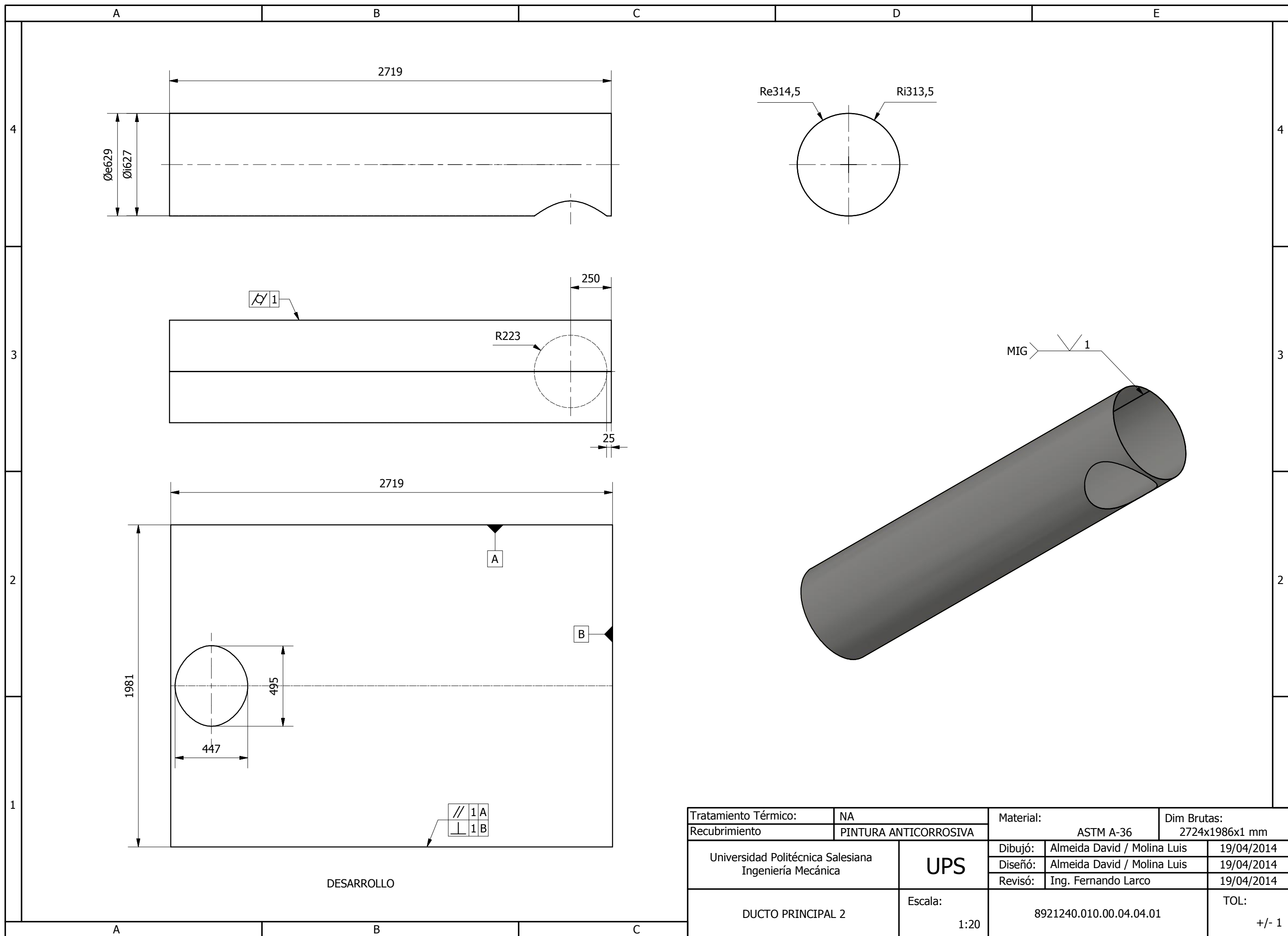
Tratamiento Térmico:	NA	Material: ASTM A-36		Dim Brutas: 1586x60x6 mm	
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
			Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
			Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
BRIDA 1		Escala: 1:7.5	8921240.010.00.04.02		TOL: +/- 1

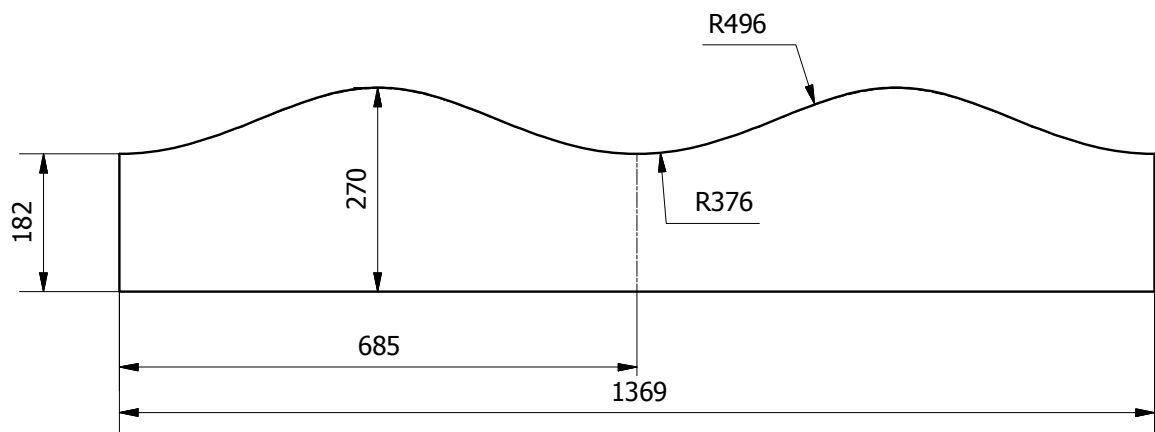
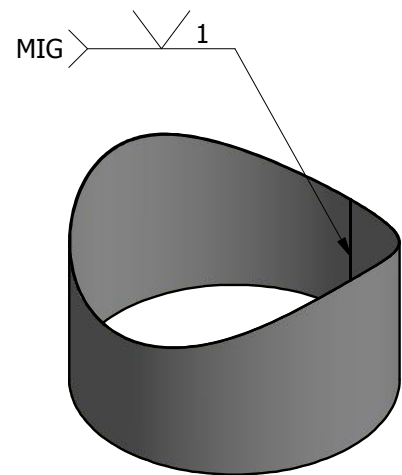
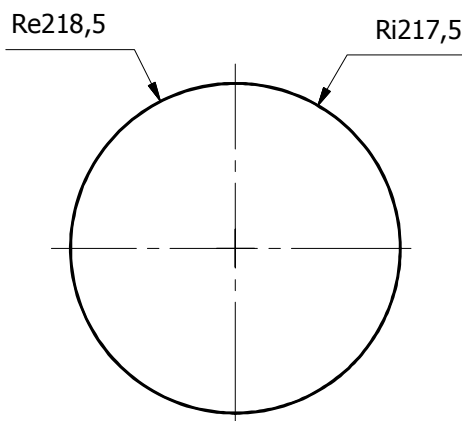
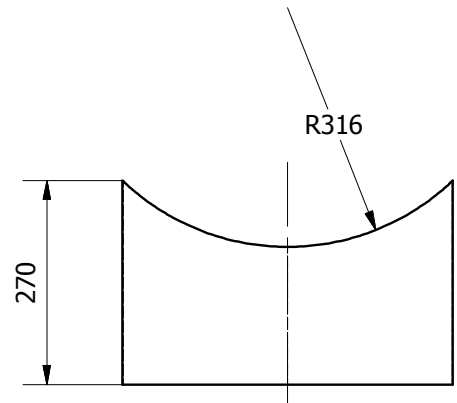
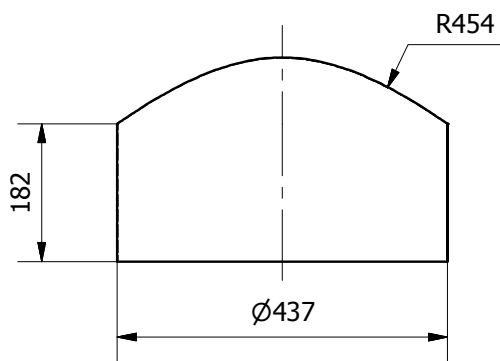


4
3
2
1

4
3
2

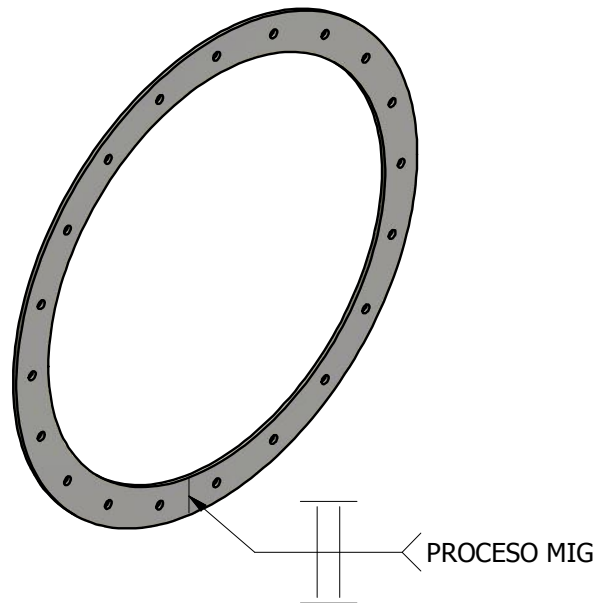
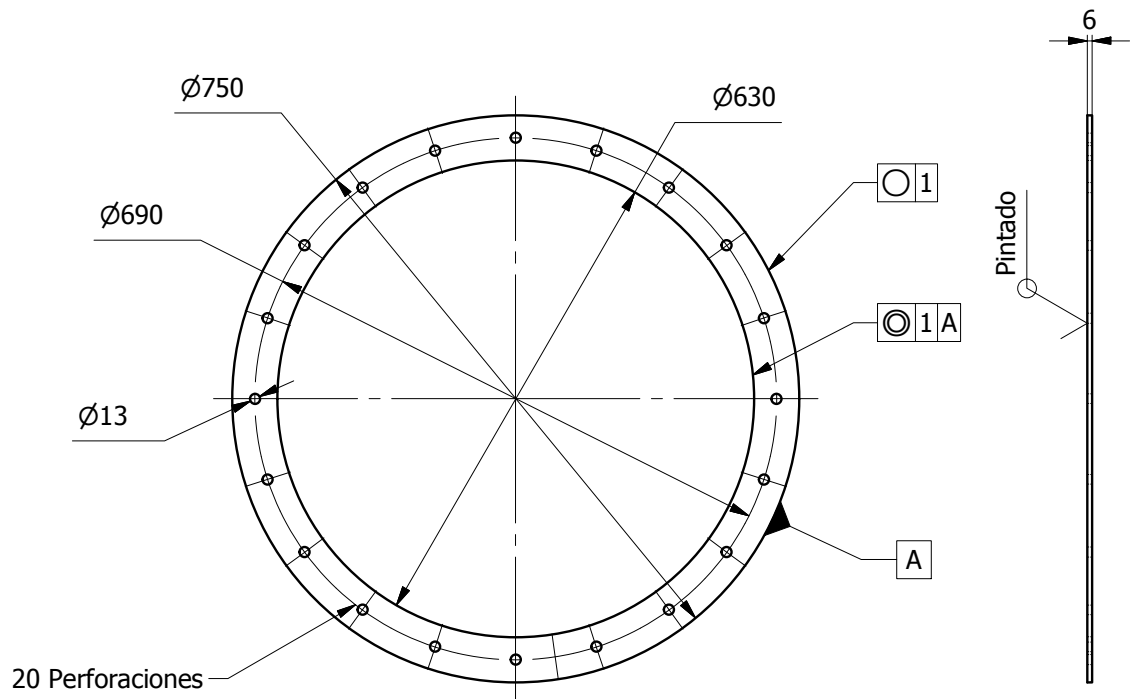




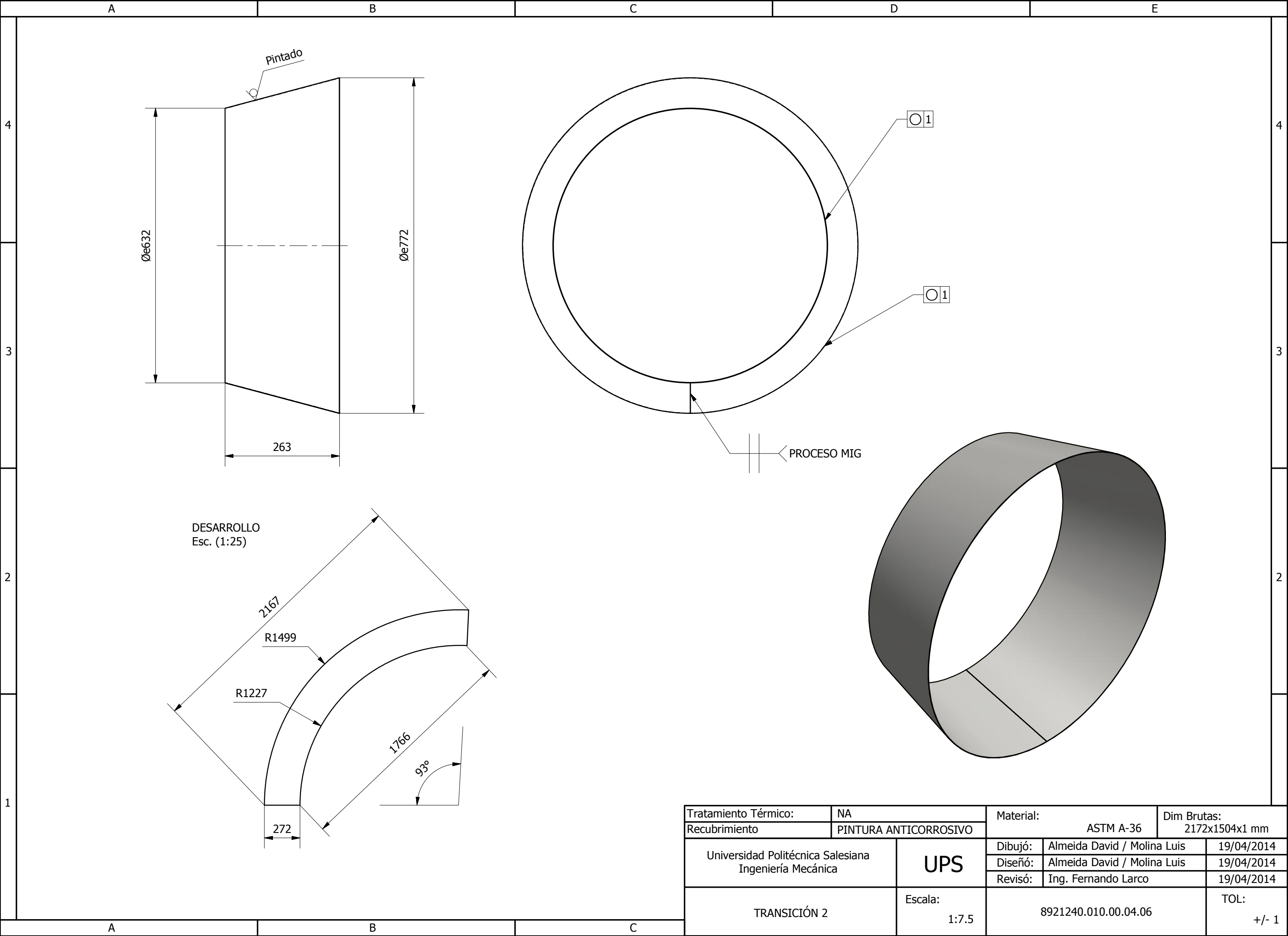


DESARROLLO

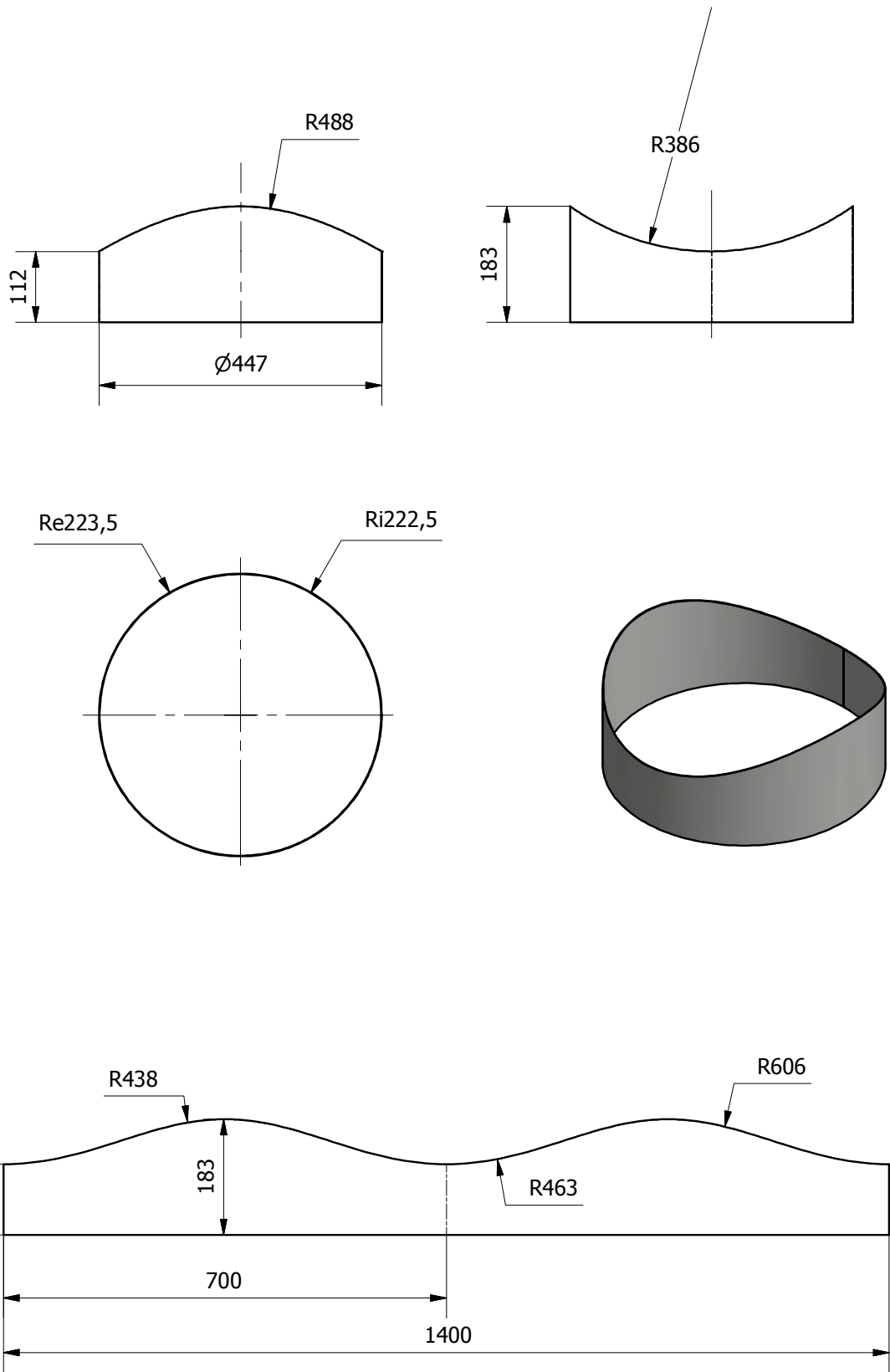
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				1374x275x1 mm
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
DUCTO SECUNDARIO 2		Escala:	8921240.010.00.04.04.02		TOL:
		1:20			+/- 1



Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM a-36	Dim Brutas:	2173x60x6 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
BRIDA 2	Escala: 1:10	8921240.010.00.04.05			TOL: +/- 1

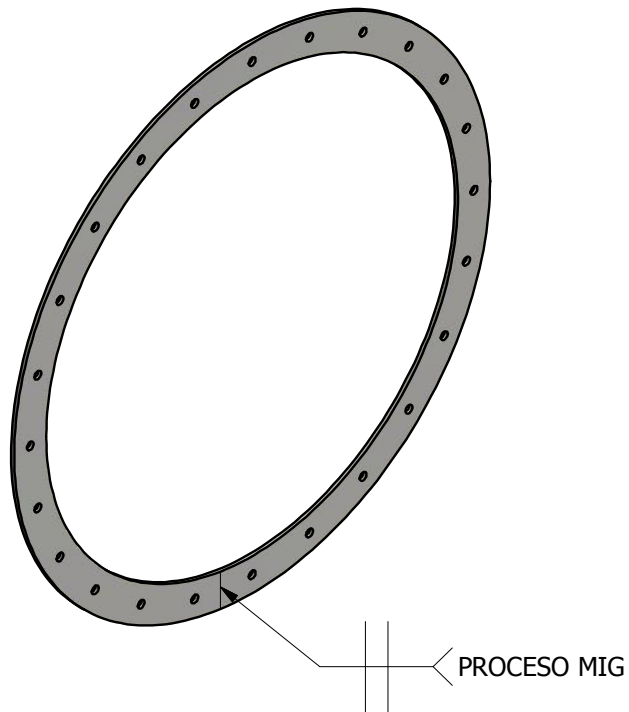
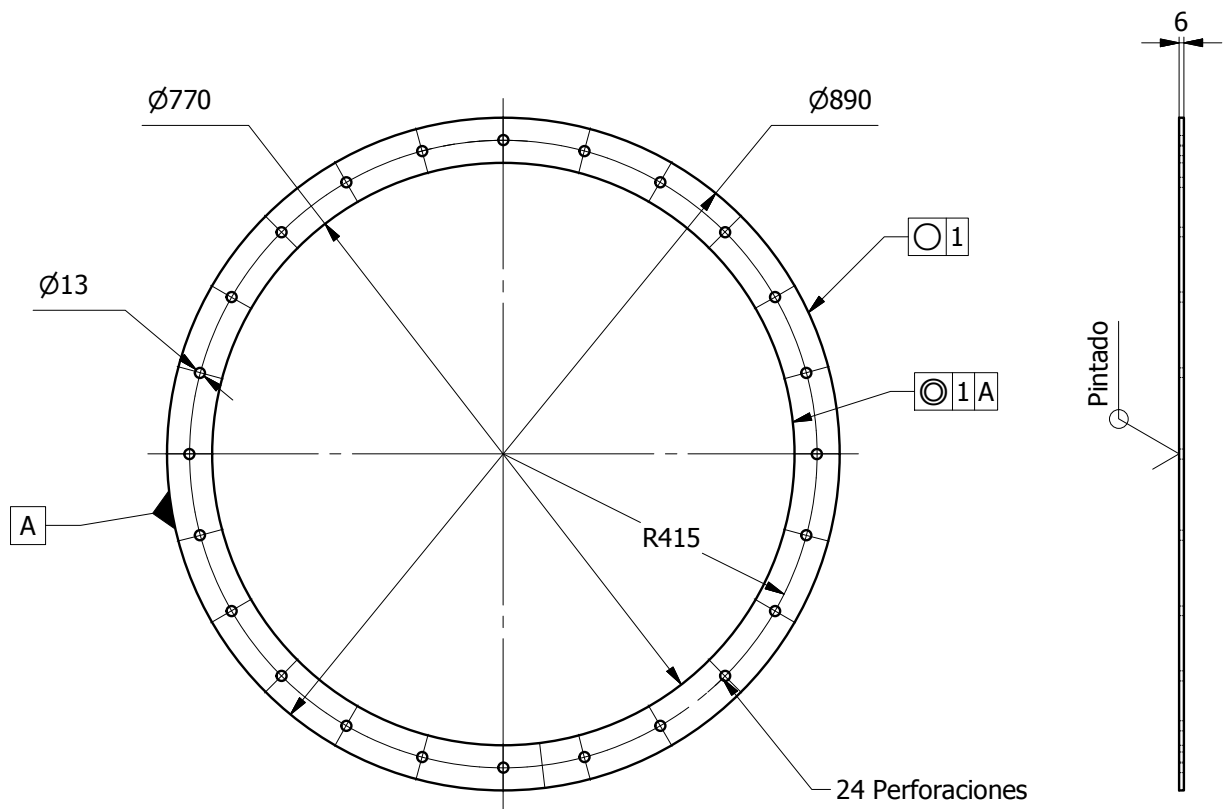


Tratamiento Térmico:	NA	Material: ASTM A-36		Dim Brutas: 2172x1504x1 mm	
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVO				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
			Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
			Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
TRANSICIÓN 2		Escala: 1:7.5	8921240.010.00.04.06		TOL: +/- 1

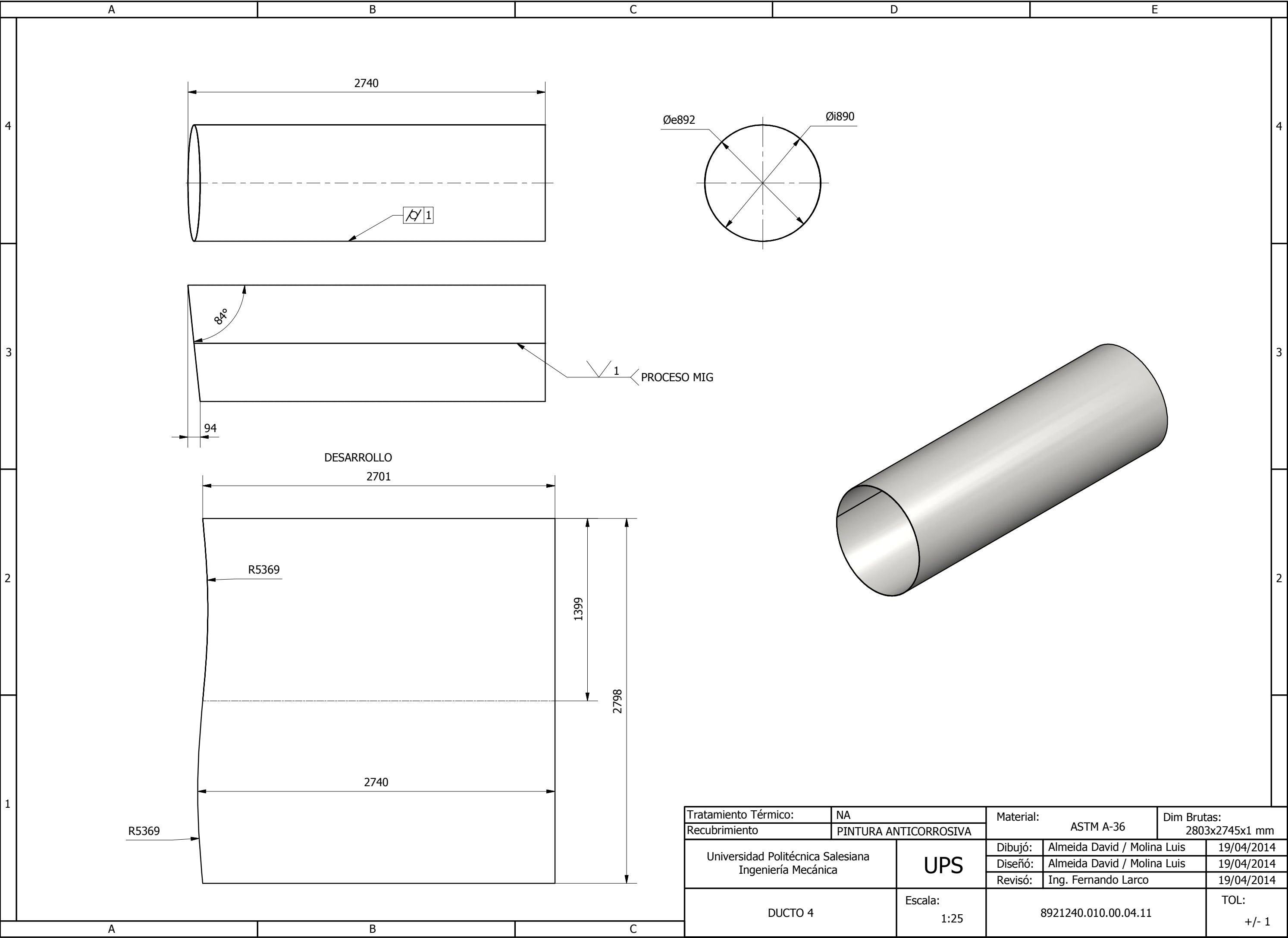


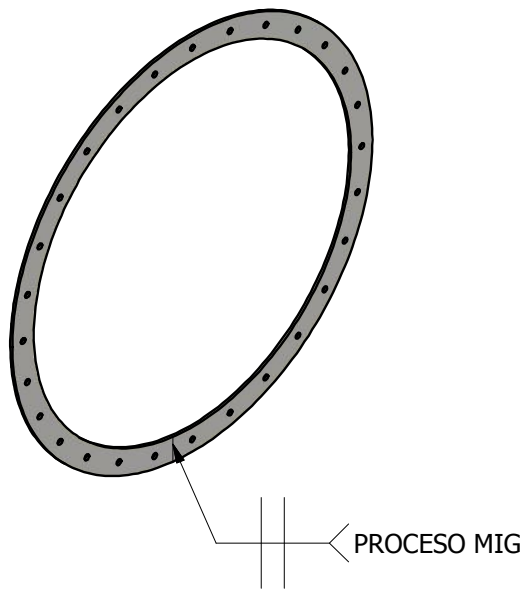
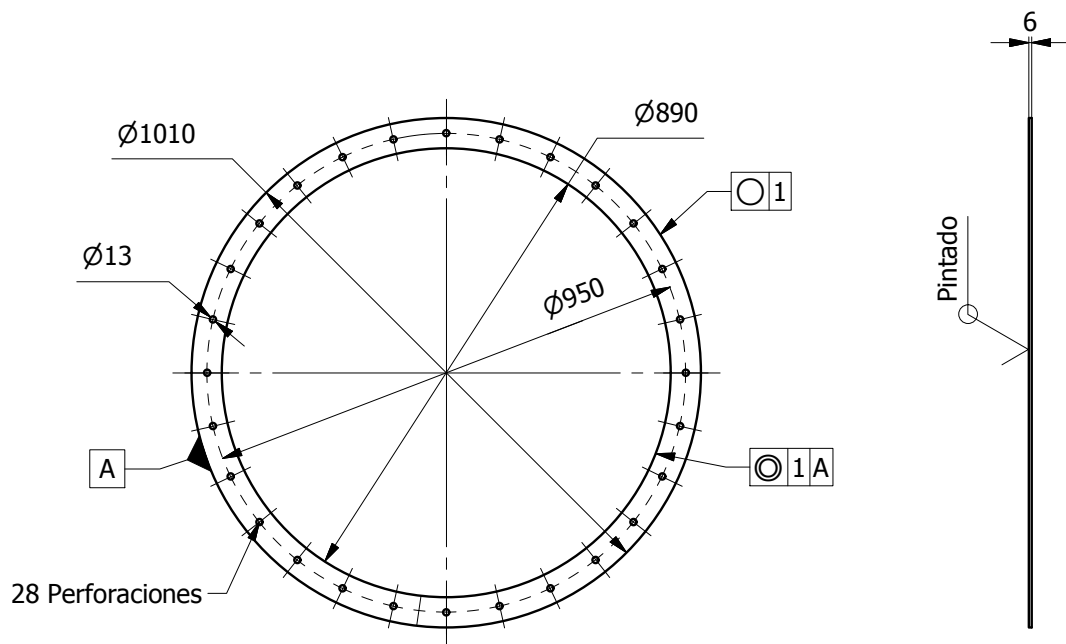
DESARROLLO

Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	1405x188x1 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
DUCTO SECUNDARIO 3	Escala: 1:25	8921240.010.00.04.07.02			TOL: +/- 1

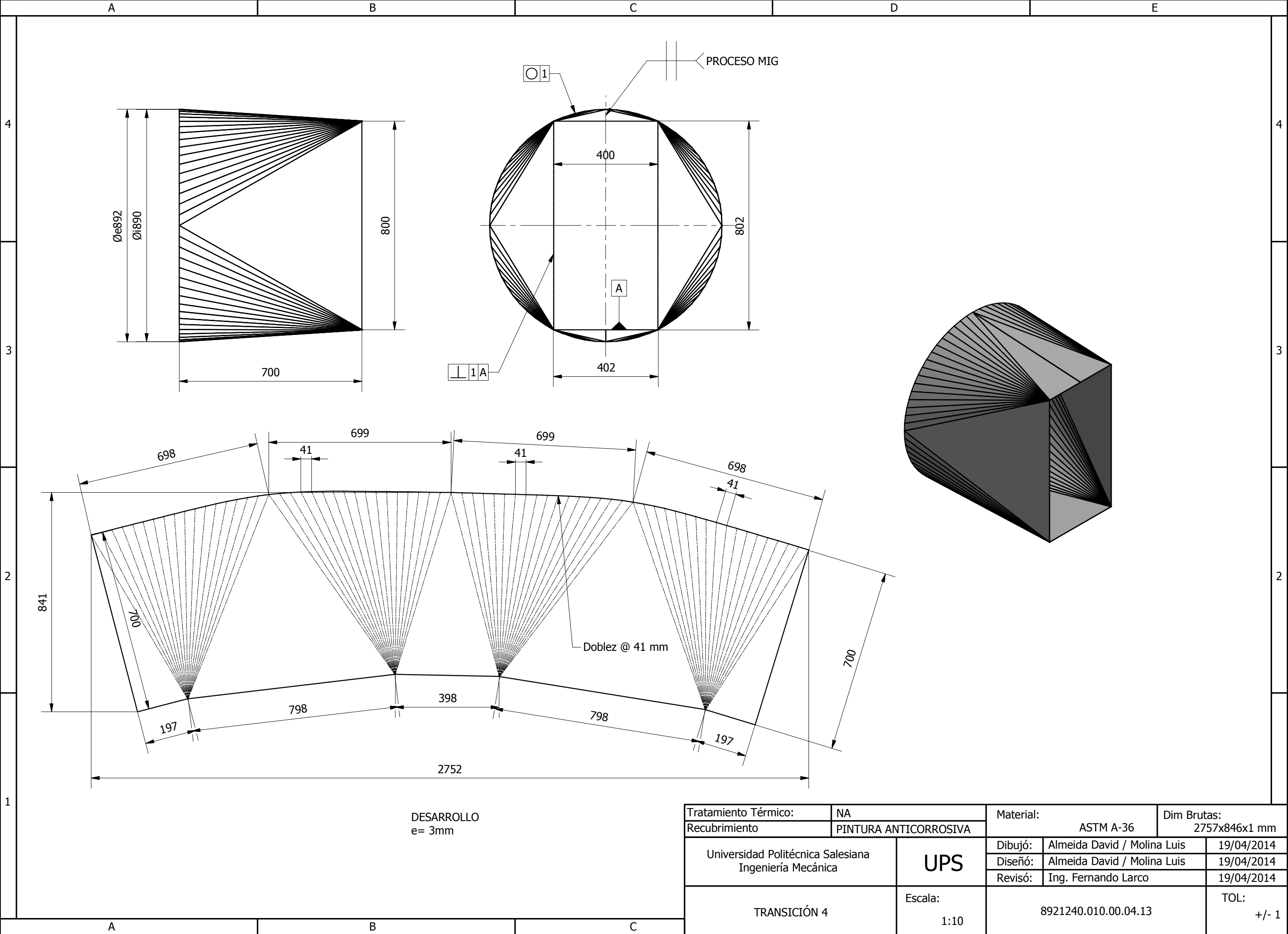


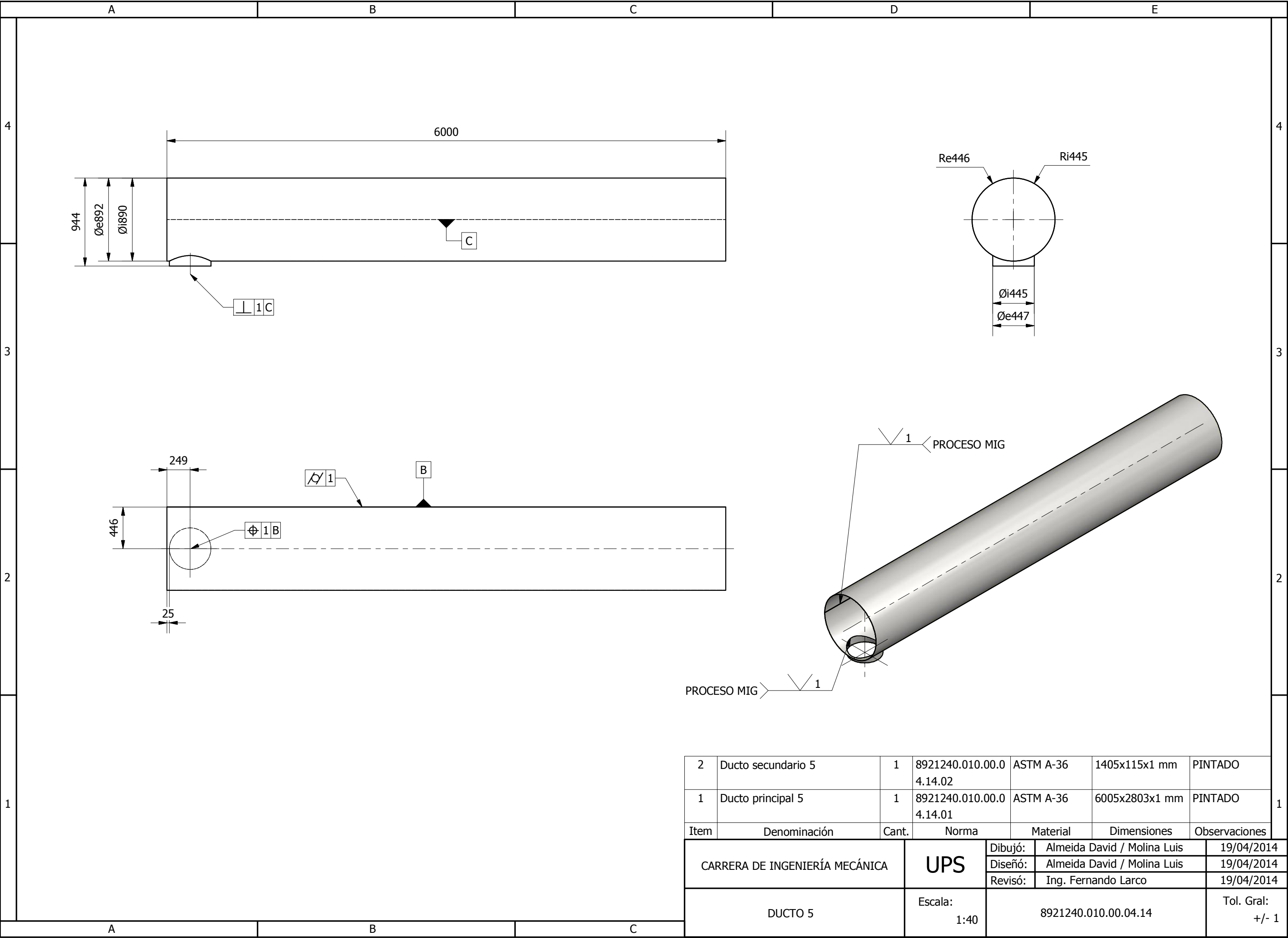
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	2613x60x6 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
BRIDA 3	Escala: 1:10	8921240.010.00.04.08			TOL: +/- 1



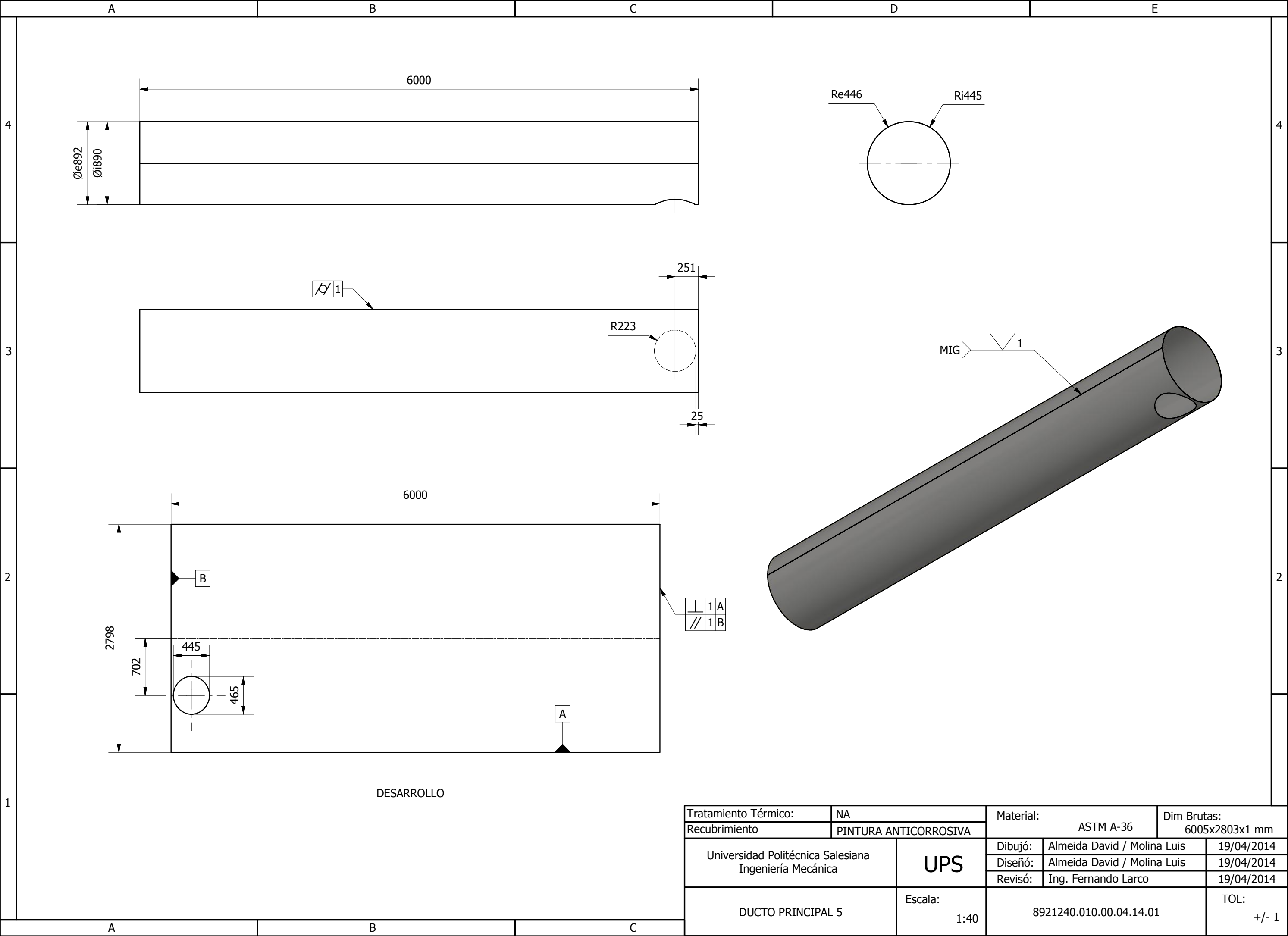


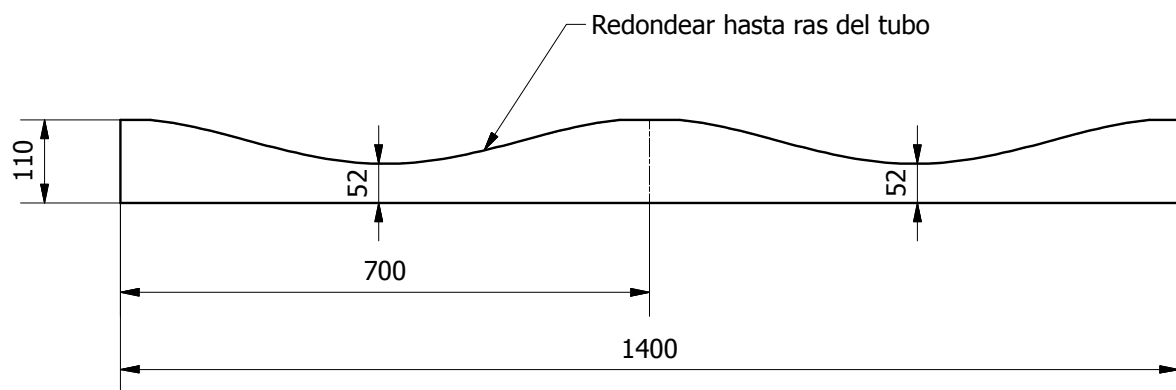
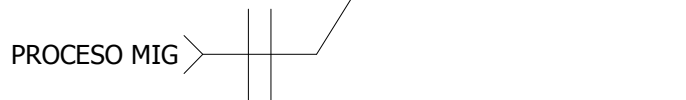
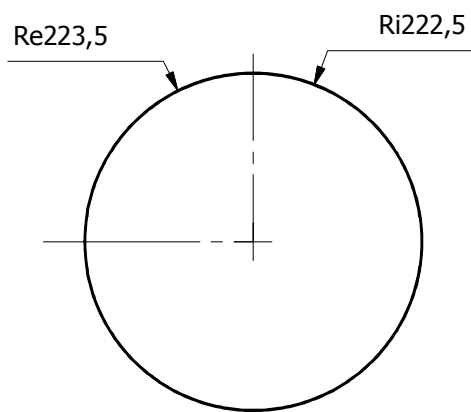
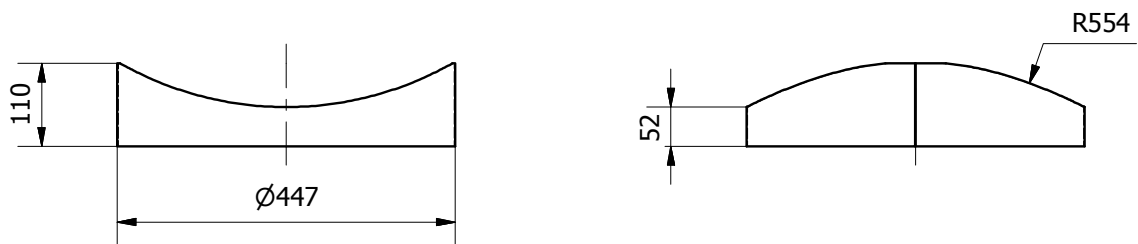
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	2990x60x6 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
BRIDA 4	Escala: 1:10	8921240.010.00.04.12			TOL: +/- 1



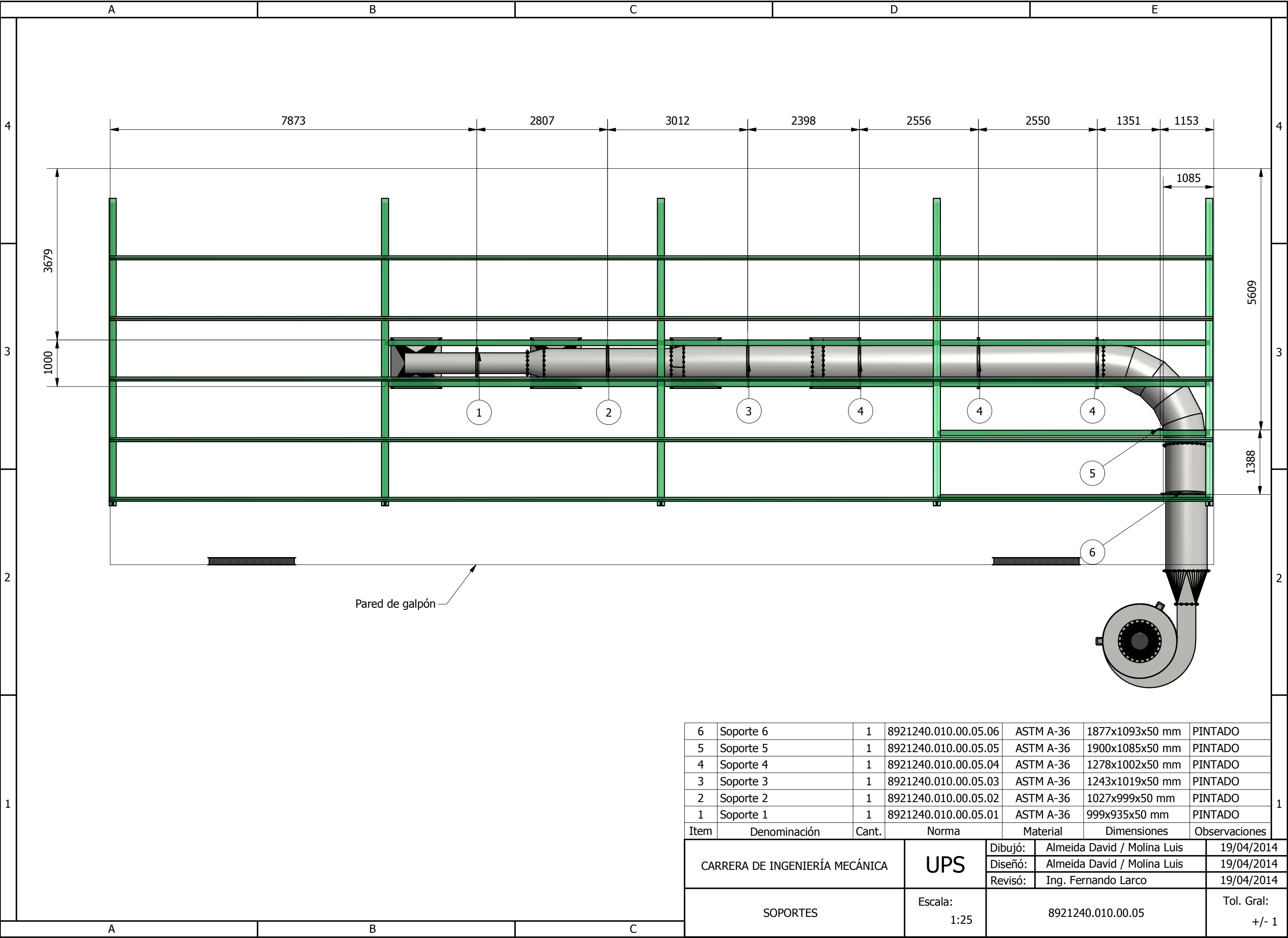


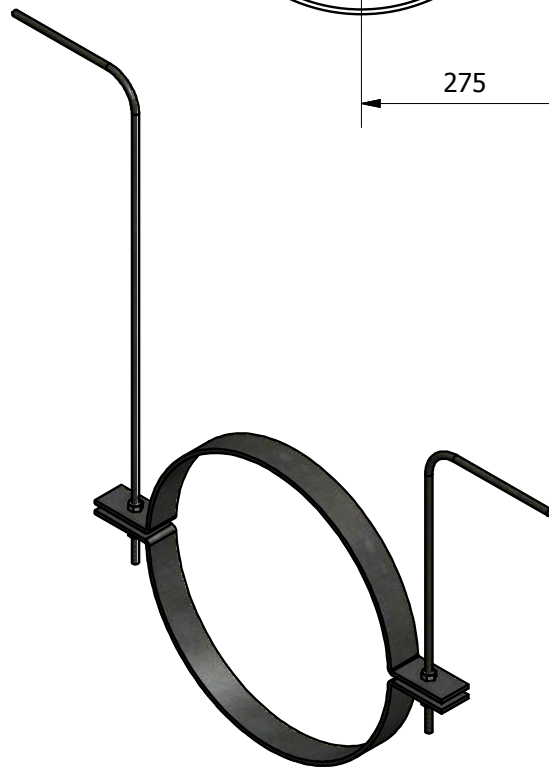
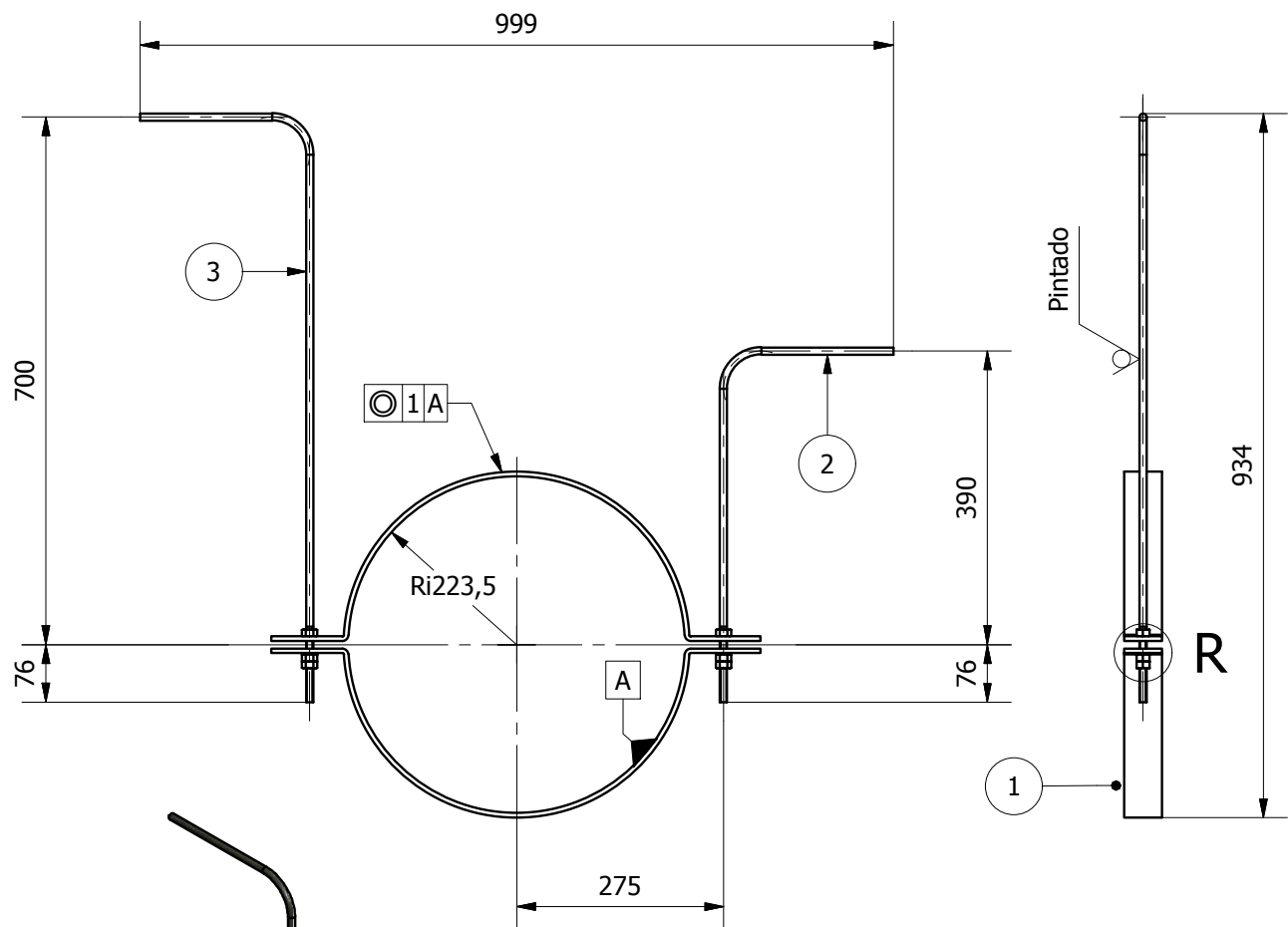
2	Ducto secundario 5	1	8921240.010.00.0 4.14.02	ASTM A-36	1405x115x1 mm	PINTADO
1	Ducto principal 5	1	8921240.010.00.0 4.14.01	ASTM A-36	6005x2803x1 mm	PINTADO
Item	Denominación	Cant.	Norma	Material	Dimensiones	Observaciones
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
DUCTO 5			Escala: 1:40	8921240.010.00.04.14		Tol. Gral: +/- 1



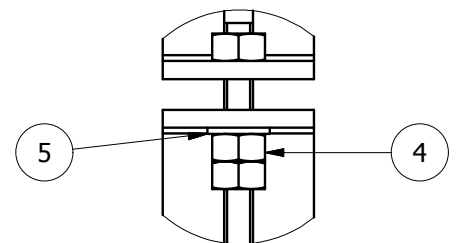


Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	1405x115x1 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
DUCTO SECUNDARIO 5	Escala: 1:40	8921240.010.00.04.14.02			TOL: +/- 1

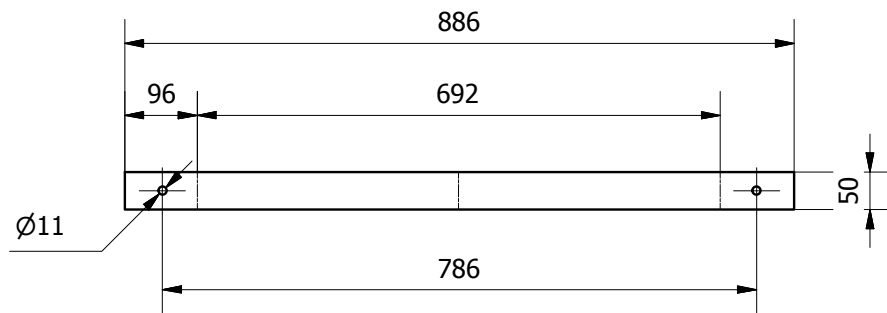
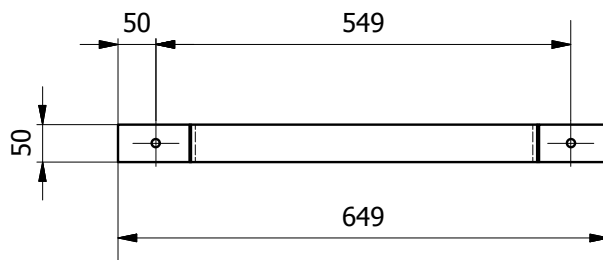
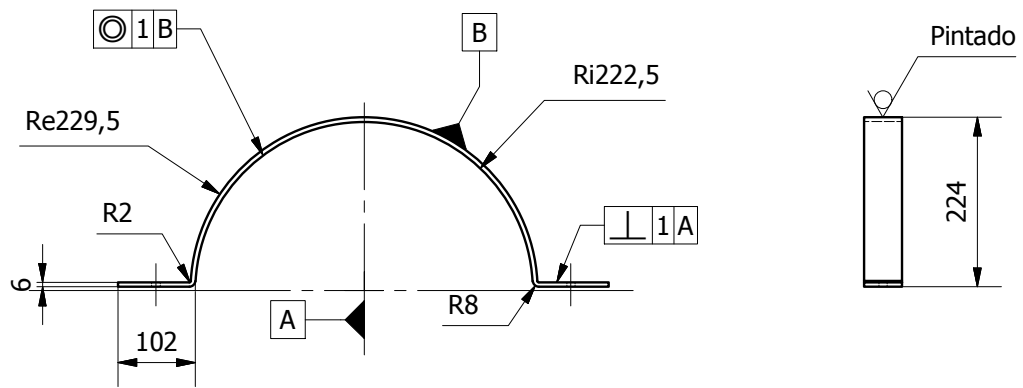




R (1 : 2.5)



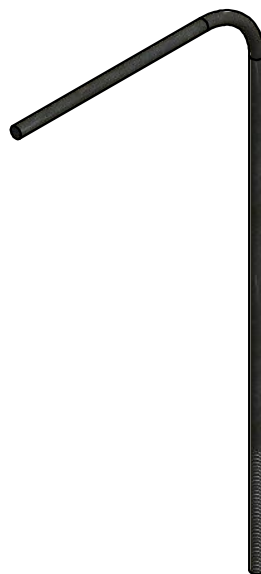
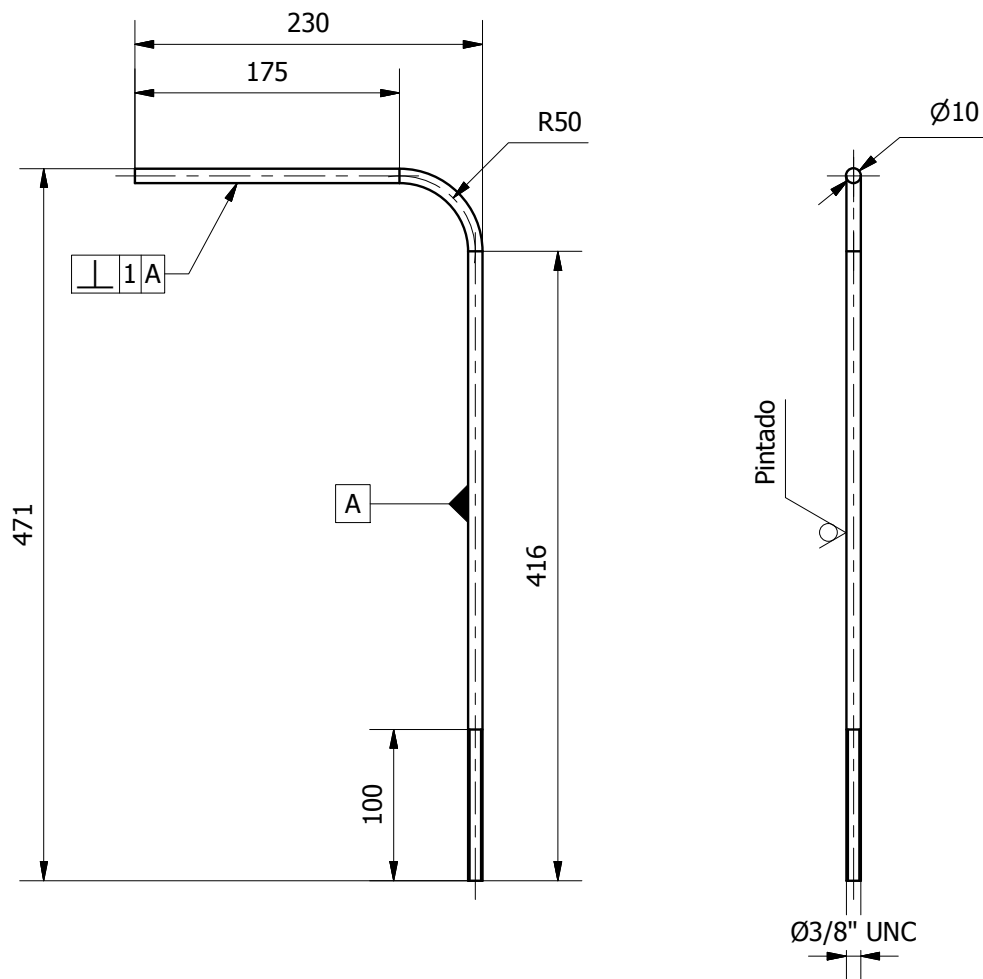
5	Arandela plana	2	ASTM F436	ACERO	Ø3/8"	GALVANIZADO
4	Tuercas hexagonales	6	ANSI B.18.2.2	ACERO	Ø3/8" UNC	GALVANIZADO
3	Varilla soporte 2	1	8921240.010.00.05.01.03	ACERO	Ø10x1016 mm	PINTADO
2	Varilla soporte 1	1	8921240.010.00.05.01.02	ASTM A-36	Ø10x706 mm	PINTADO
1	Abrazadera 1	2	8921240.010.00.05.01.01	ASTM A-36	891x50x6 mm	PINTADO
Item	Denominación	Cant.	Norma	Material	Dimensiones	Observaciones
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
SOPORTE 1			Escala: 1:15	8921240.010.00.05.01		Tol. Gral: +/- 1



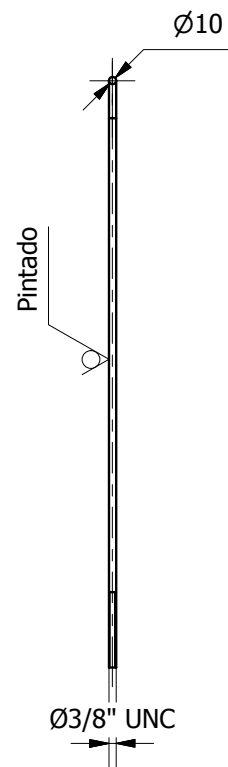
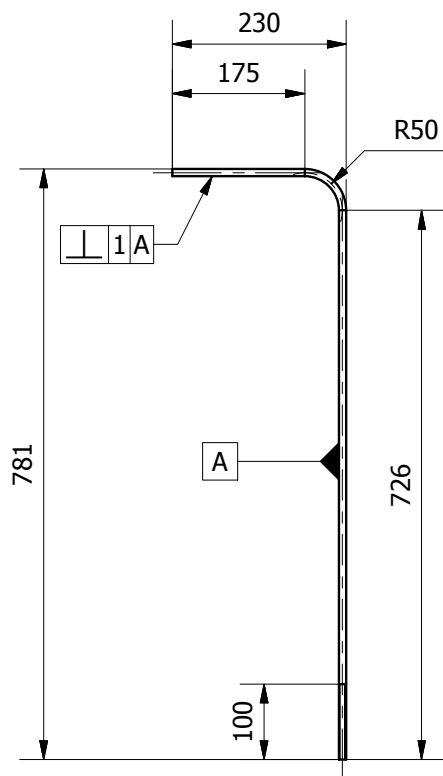
DESARROLLO



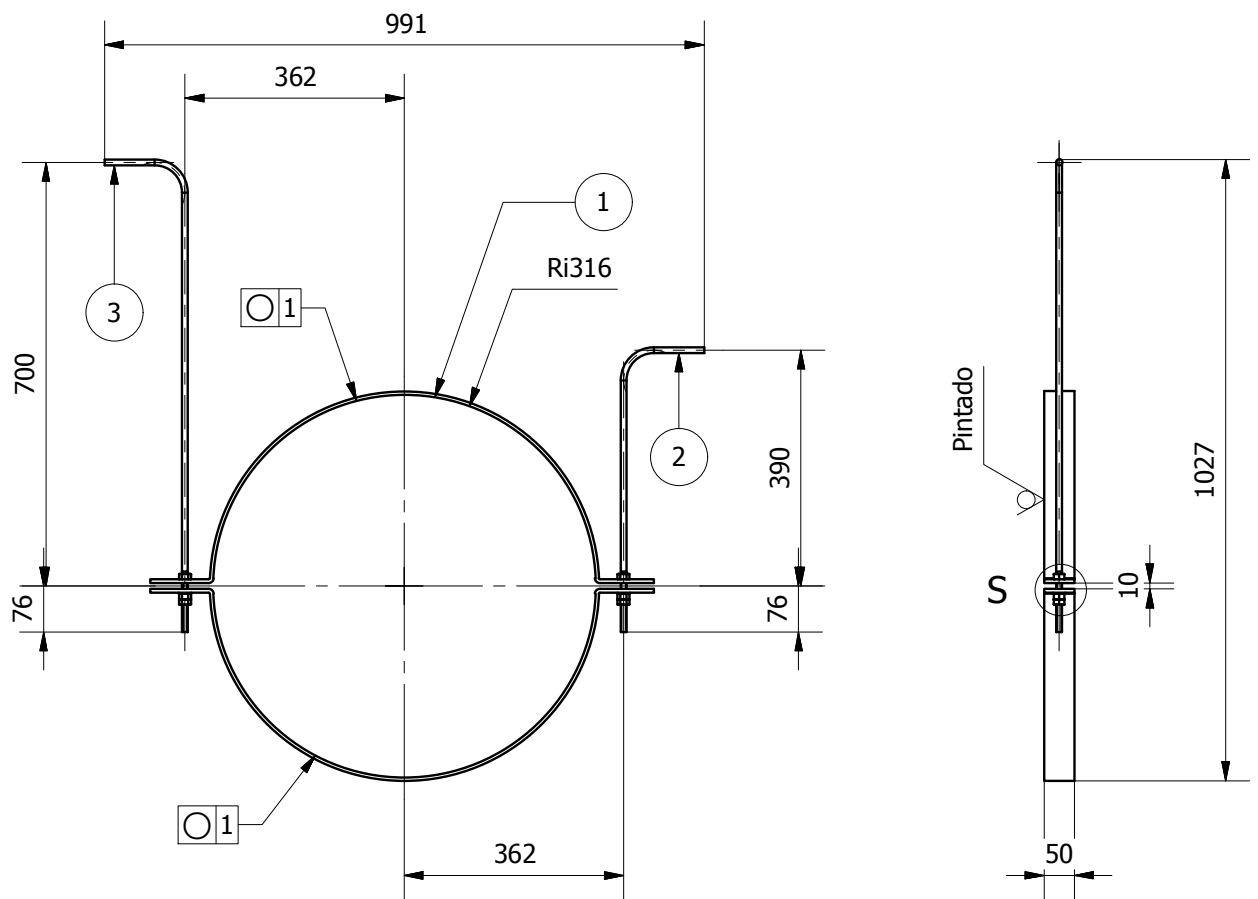
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	891x50x6 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
ABRAZADERA 1	Escala: 1:10	8921240.010.00.05.01.01			TOL: +/- 1



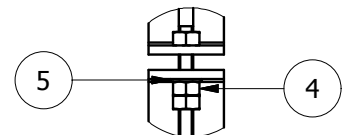
Tratamiento Térmico:	NA	Material:		ASTM A-36		Dim Brutas: Ø10x706 mm	
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA						
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		UPS		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis		19/04/2014
				Diseño:	Almeida David / Molina Luis		19/04/2014
				Revisó:	Ing. Fernando Larco		19/04/2014
VARILLA ROSCADA 1 SOPORTE 1		Escala: 1:10		8921240.010.00.05.01.02			TOL: +/- 1



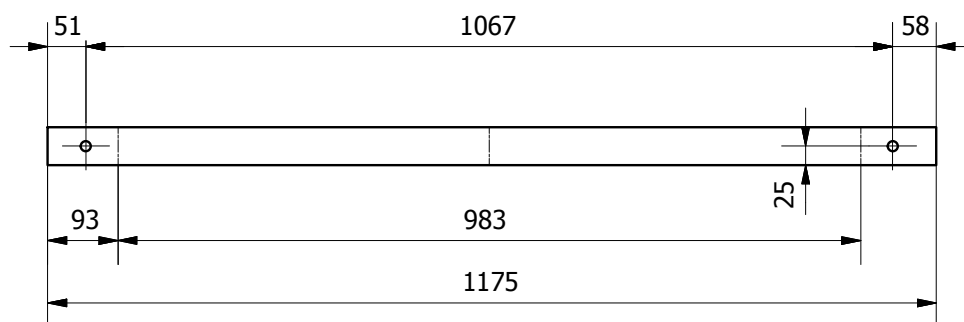
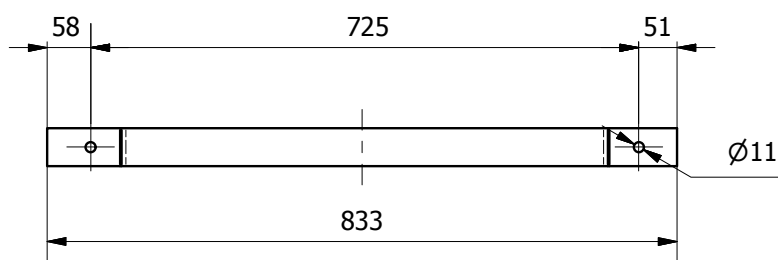
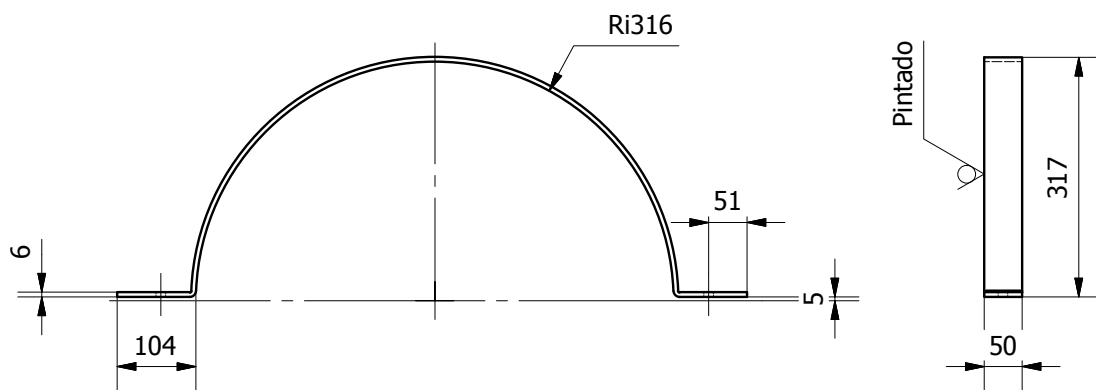
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				Ø10x1016 mm
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
VARILLA 2 SOPORTE 1		Escala:	8921240.010.00.05.01.03		TOL:
		1:10			+/- 1



S (1:5)



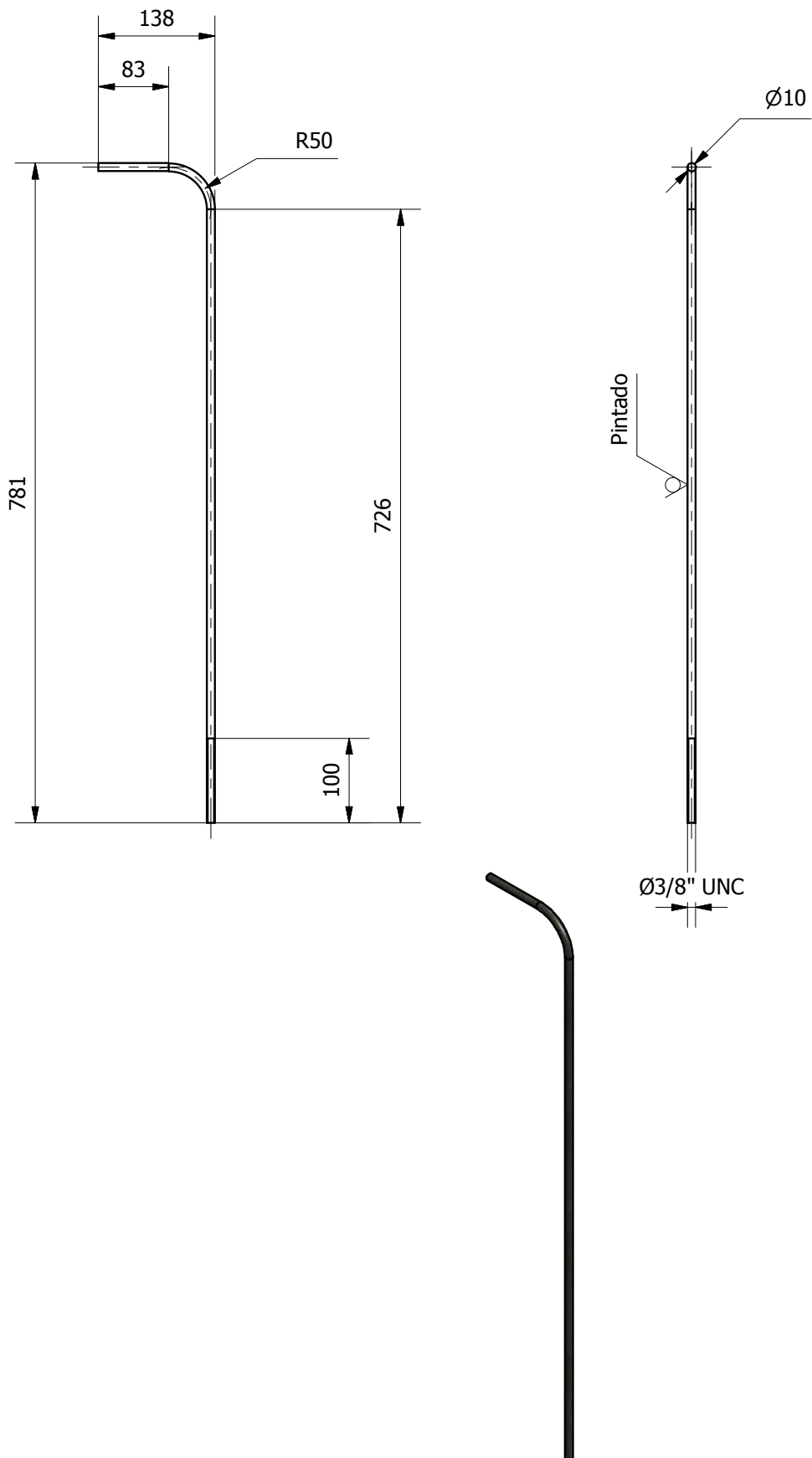
5	Arandela plana	2	ASTM F436	ACERO	Ø3/8"	GALVANIZADO
4	Tuerca hexagonal	6	ANSI B18.2.2	ACERO	Ø3/8" UNC	GALVANIZADO
3	Varilla 2 soporte 2	1	8921240.010.05.02.03	ASTM A-36	Ø10x614 mm	PINTADO
2	Varilla 1 soporte 2	1	8921240.010.05.02.02	ASTM A-36	Ø10x924 mm	PINTADO
1	Abrazadera 2	2	8921240.010.05.02.01	ASTM A-36	1180x50x6 mm	PINTADO
Ítem	Denominación	Cant.	Norma	Material	Dimensiones	Observaciones
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
SOPORTE 2			Escala: 1:15	8921240.010.00.05.02		Tol. Gral: +/- 1



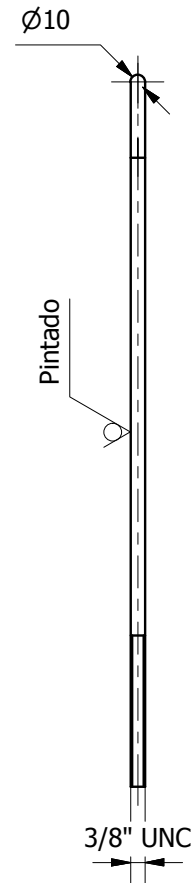
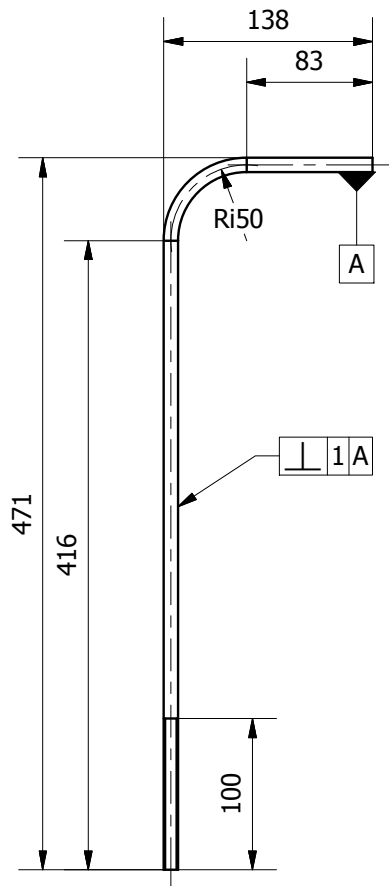
DESARROLLO



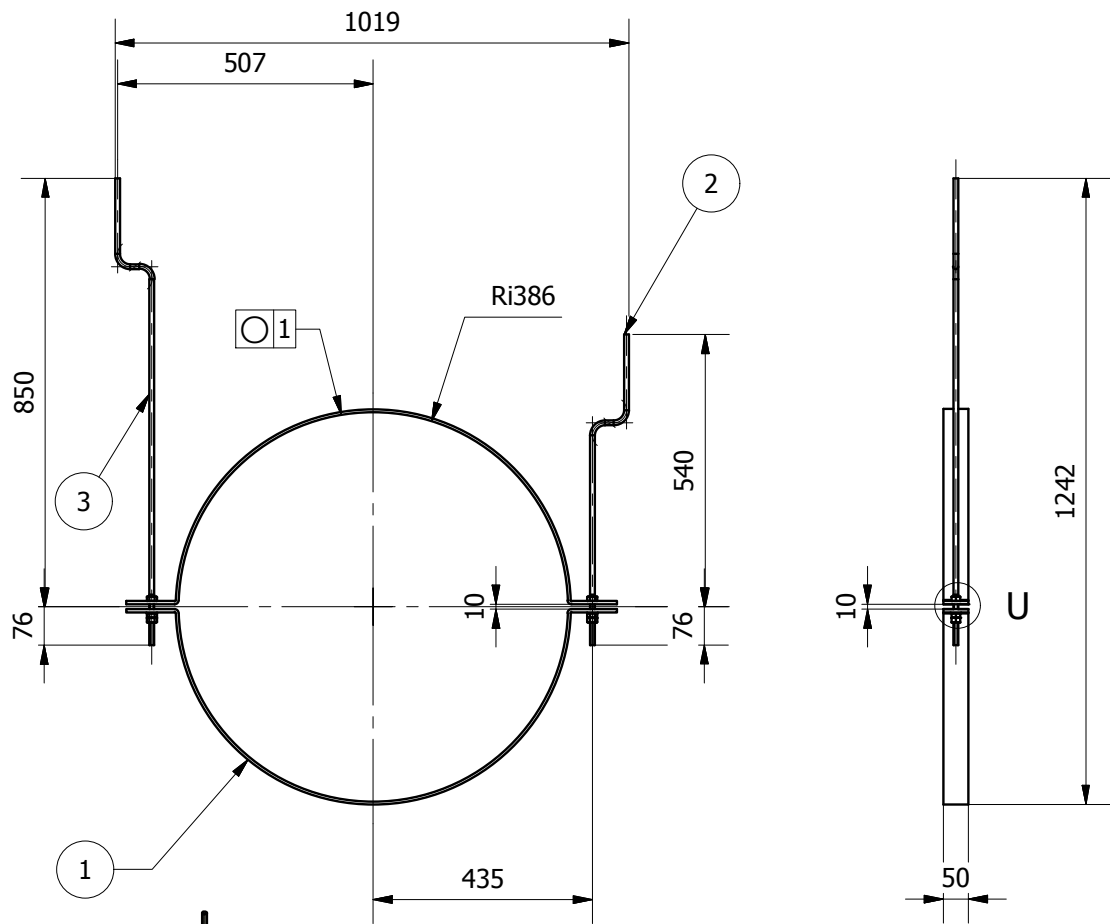
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	1180x50x6 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
ABRAZADERA 2	Escala: 1:10	8921240.010.00.05.02.01			TOL: +/- 1



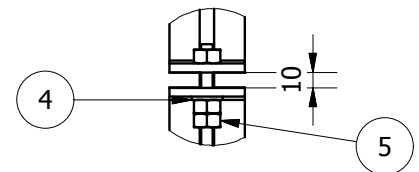
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				Ø10x924 mm
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
VARILLA 1 SOPORTE 2		Escala:	8921240.010.00.05.02.02		TOL:
		1:10			+/- 1



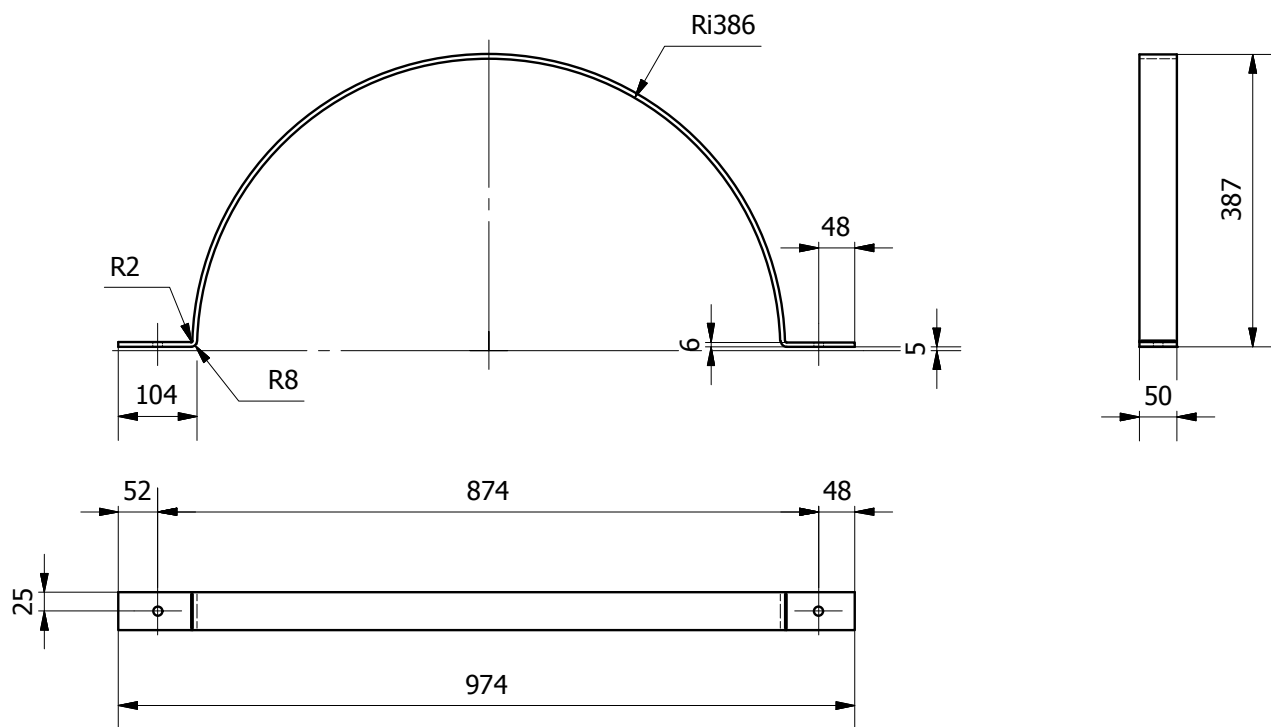
Tratamiento Térmico:	NA	Material: ASTM A-36		Dim Brutas: Ø10x614 mm	
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
			Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
			Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
VARILLA 2 SOPORTE 2		Escala: 1:5	8921240.010.00.05.02.03		TOL: +/- 1



U (1:5)



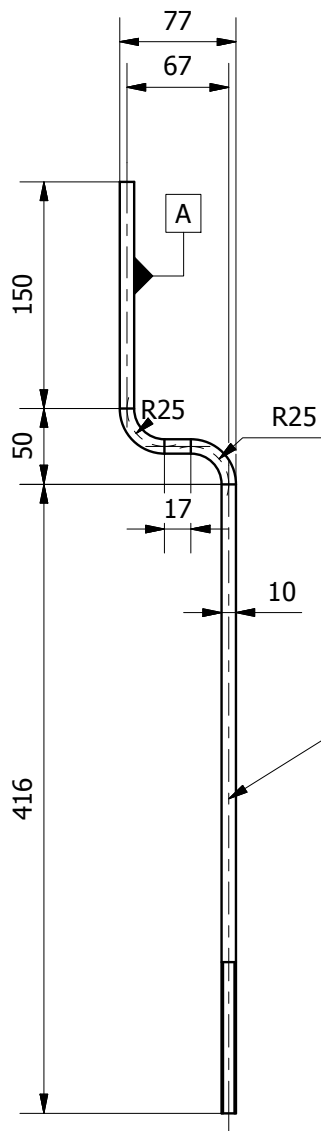
5	Tuerca hexagonal	6	ANSI B18.2.2	ACERO	Ø3/8" UNC	GALVANIZADO
4	Arandela plana	2	ASTM F436	ACERO	Ø3/8"	GALVANIZADO
3	Varilla 1 soporte 3	1	8921240.010.00.05.03.03	ASTM A-36	Ø10x1009 mm	PINTADO
2	Varilla 2 soporte 3	1	8921240.010.00.05.03.02	ASTM A-36	Ø10x698 mm	PINTADO
1	Abrazadera 3	2	8921240.010.00.05.03.01	ASTM A-36	1401x50x6 mm	PINTADO
Ítem	Denominación	Cant.	Norma	Material	Dimensiones	Observaciones
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
SOPORTE 3			Escala: 1:15	8921240.010.00.05.03		Tol. Gral: +/- 1



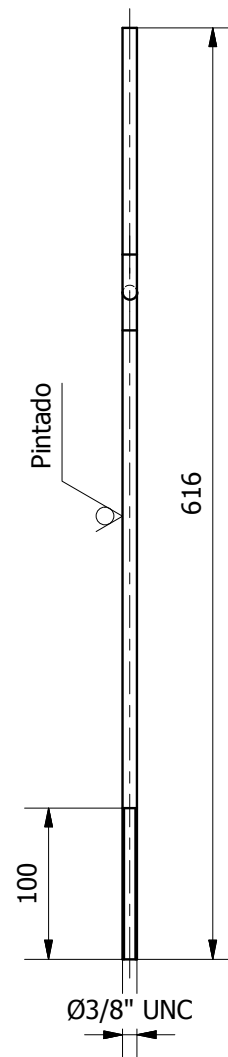
DESARROLLO



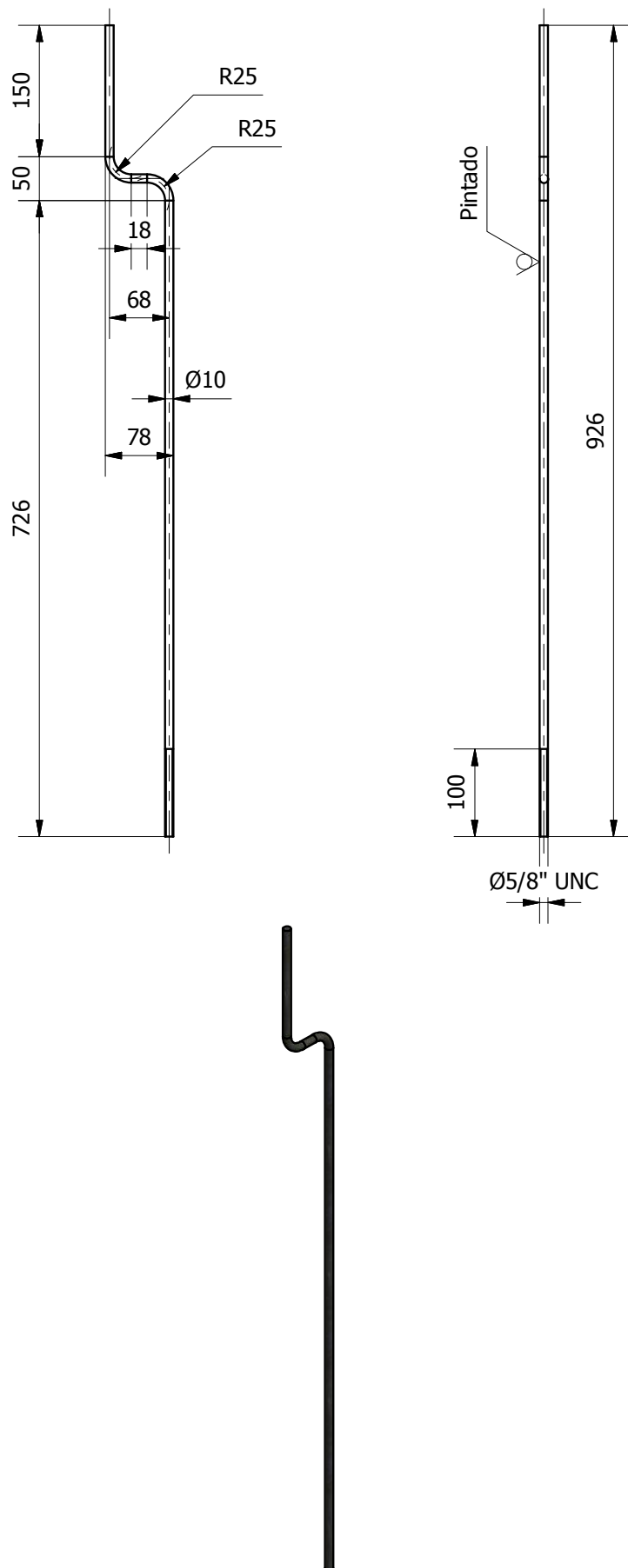
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				1401x50x6 mm
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
ABRAZADERA 3		Escala:	8921240.010.00.05.03.01		TOL:
		1:10			+/- 1



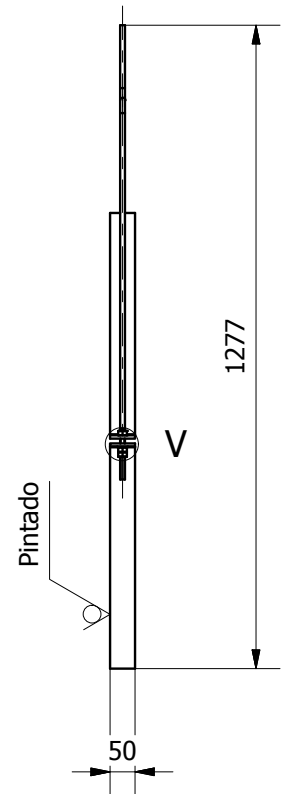
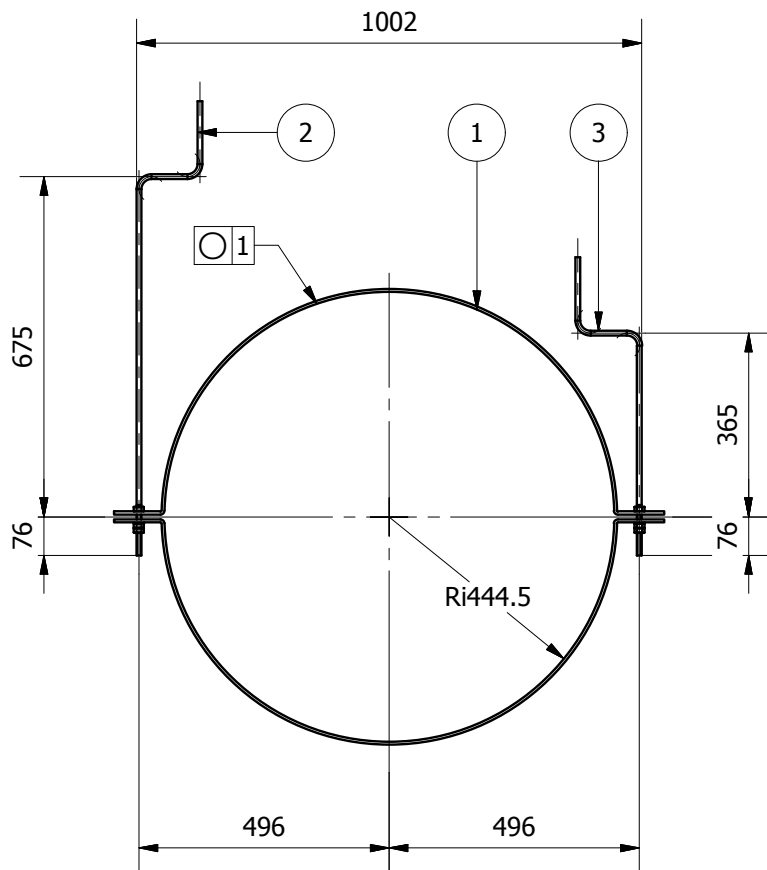
// 1 A



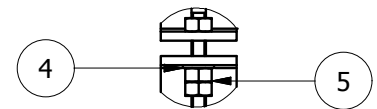
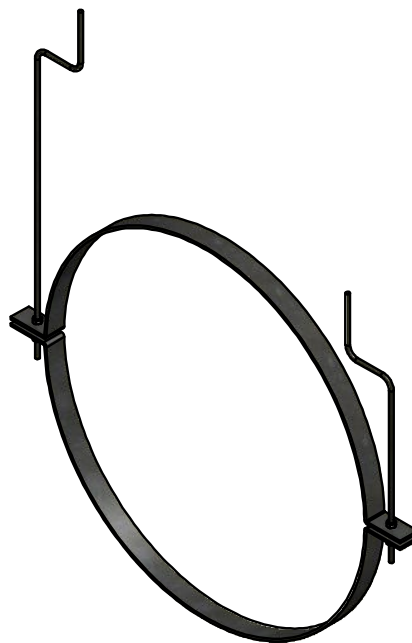
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	Ø10x698 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
VARILLA 1 SOPORTE 3	Escala: 1:5	8921240.010.00.05.03.02			TOL: +/- 1



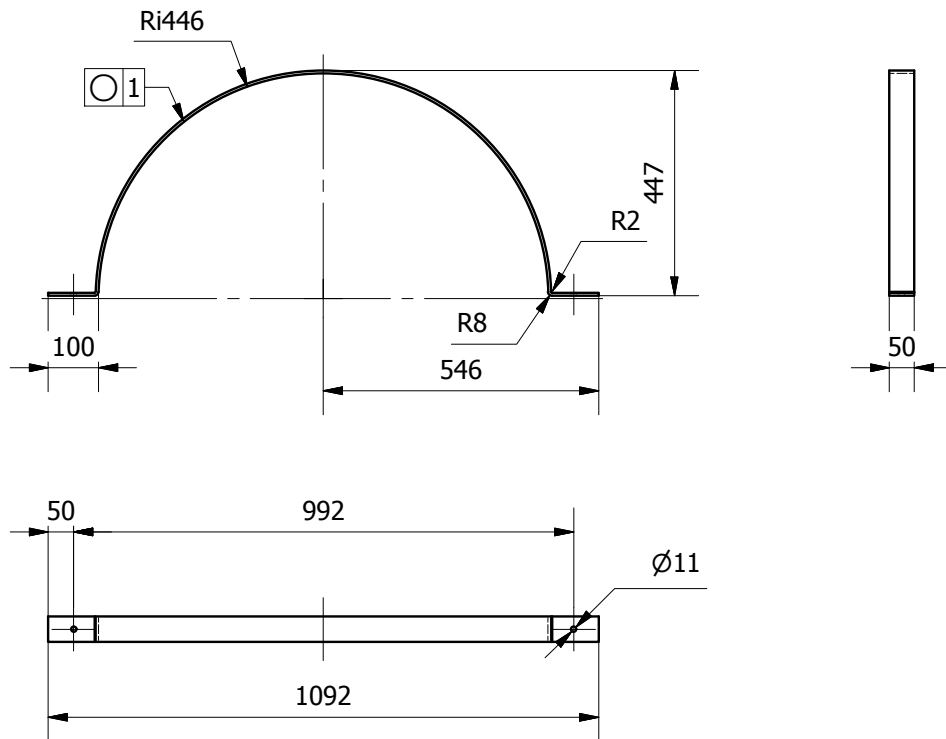
Tratamiento Térmico:	NA	Material:		Dim Brutas:		
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA					
		ASTM A-36		Ø10x1009 mm		
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		UPS		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
VARILLA 2 SOPORTE 3		Escala:		8921240.010.00.05.03.03		TOL:
		1:5				+/- 1



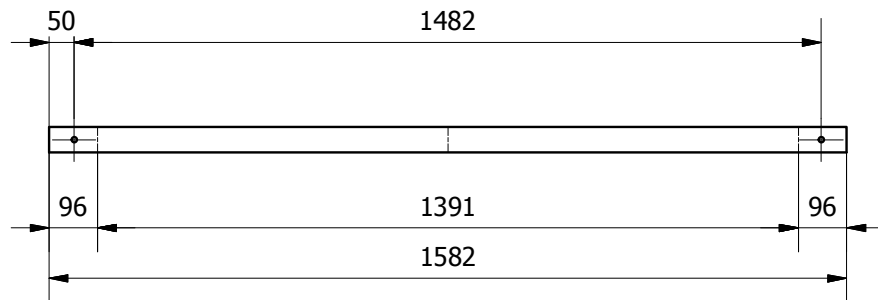
V (1:5)



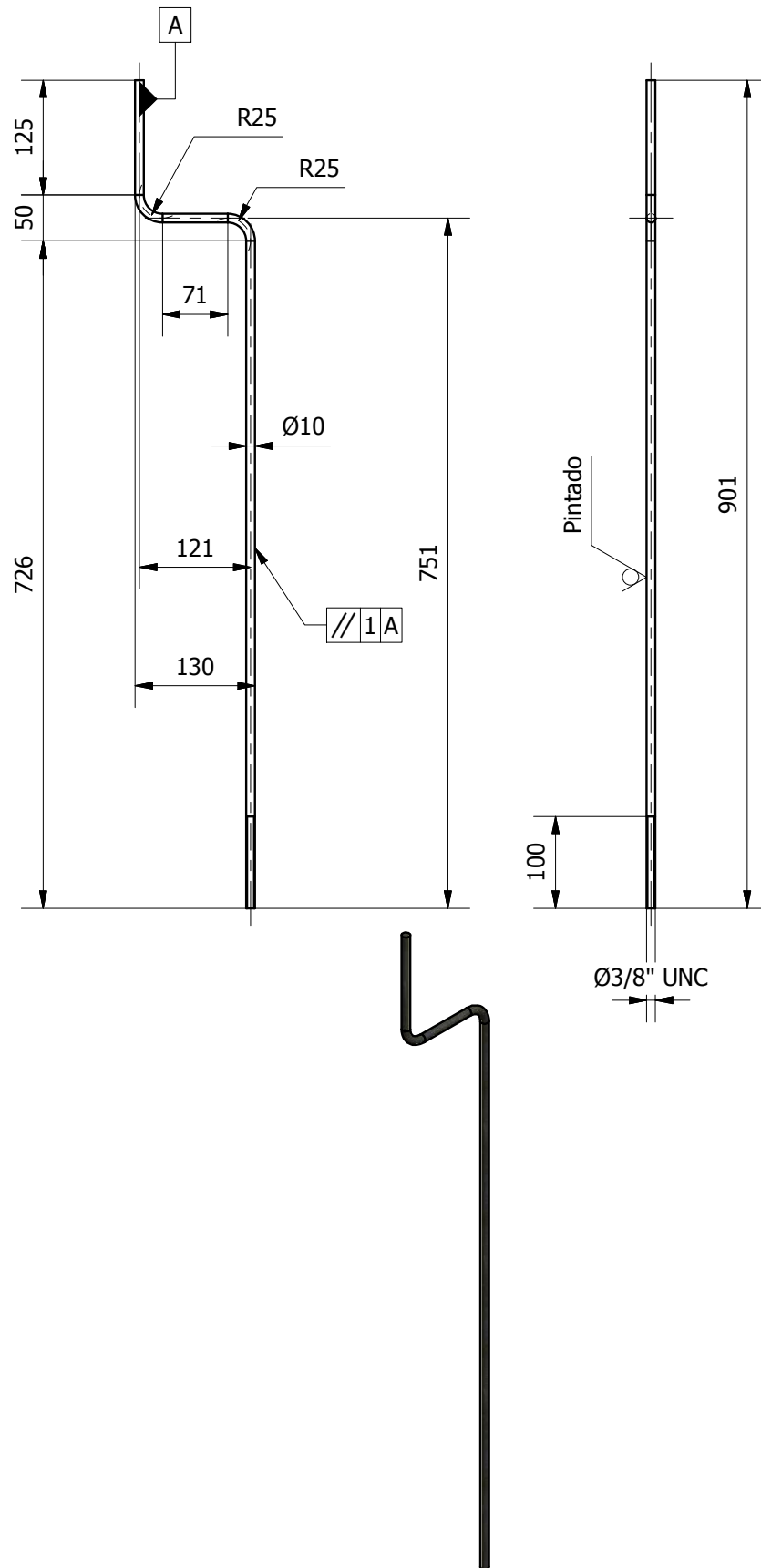
5	Tuerca hexagonal	6	ANSI B18.2.2	ACERO	Ø3/8" UNC	GALVANIZADO
4	Arandel plana	2	ASTM F436	ACERO	Ø3/8"	GALVANIZADO
3	Varilla 1 abrazadera 4	1	8921240.010.00.05.04.03	ASTM A-36	Ø10x727 mm	PINTADO
2	Varilla 2 abrazadera 4	1	8921240.010.00.05.04.02	ASTM A-36	Ø10x1037 mm	PINTADO
1	Abrazadera 4	2	8921240.010.00.05.04.01	ASTM A-36	1587x50x6 mm	PINTADO
Item	Denominación	Cant.	Norma	Material	Dimensiones	Observaciones
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
SOPORTE 4			Escala: 1:15	8921240.010.00.05.04		Tol. Gral: +/- 1



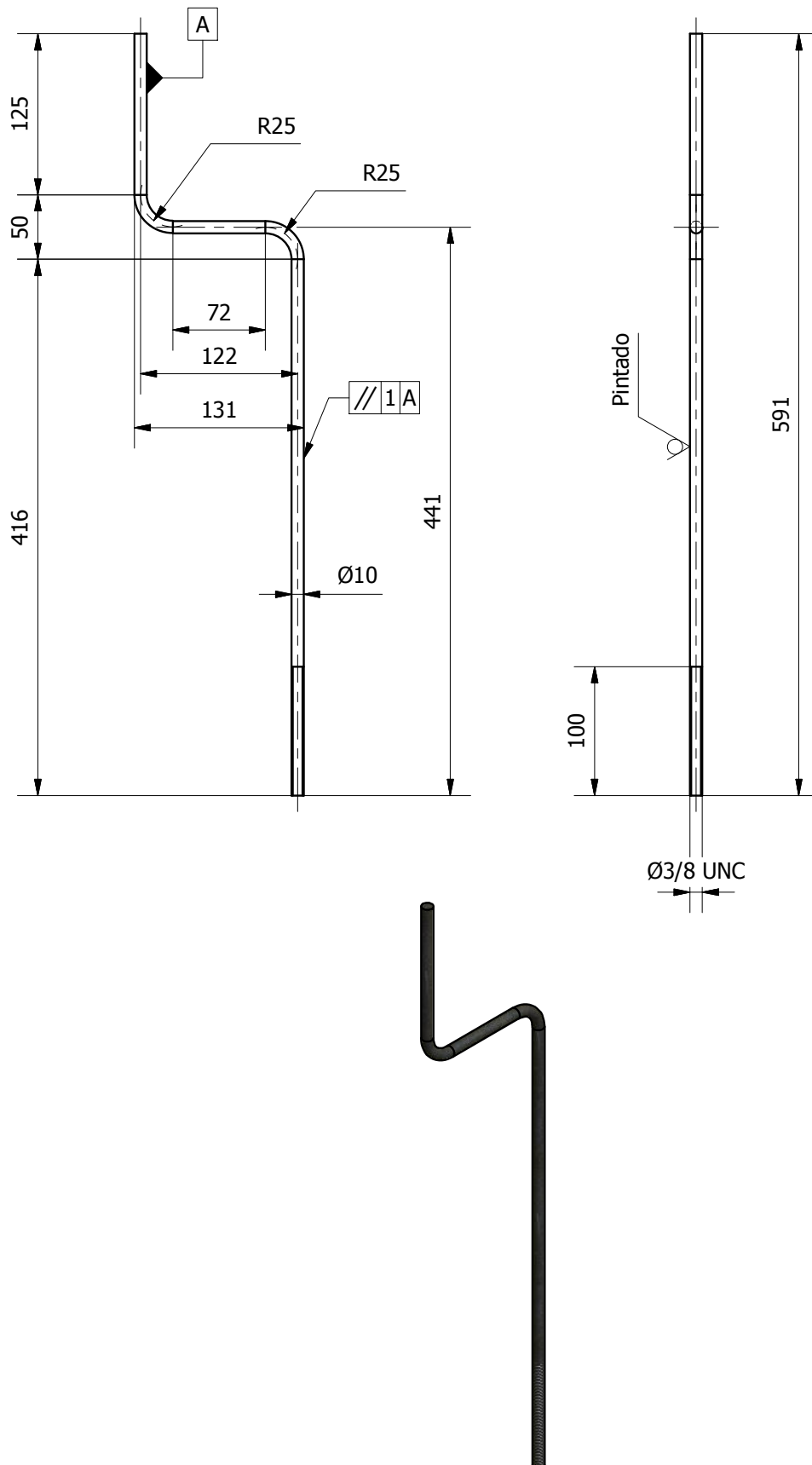
DESARROLLO



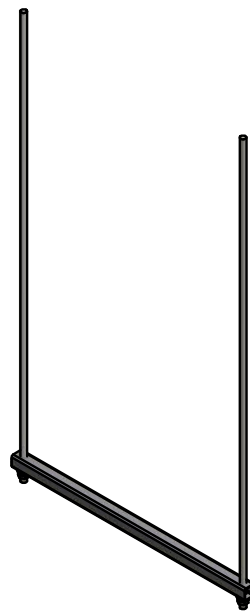
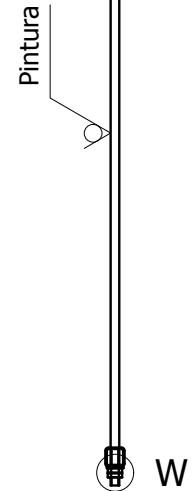
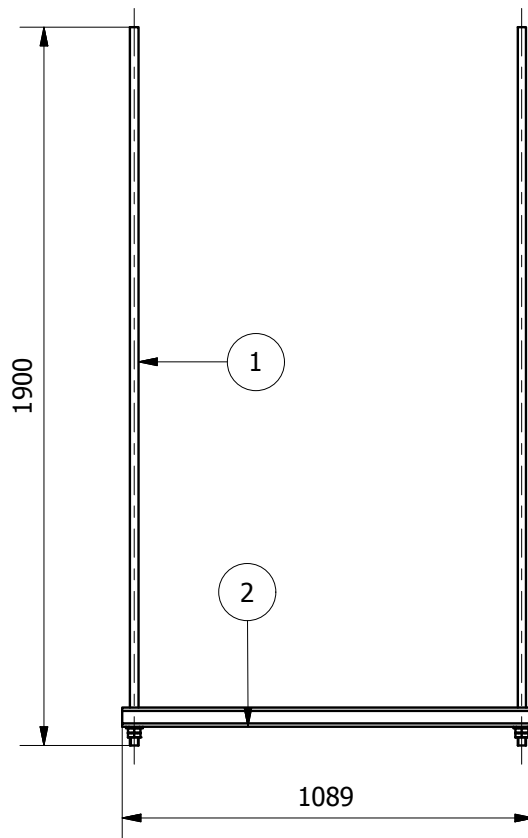
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	1587x50x6 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
ABRAZADERA 4	Escala: 1:15	8921240.010.00.05.04.01			TOL: +/- 1



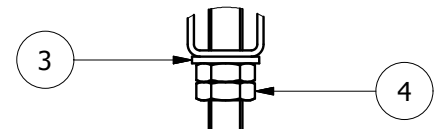
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:	$\varnothing 10 \times 1037 \text{ mm}$	
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA						
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		UPS		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
				Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
VARILLA 2 SOPORTE 4		Escala:	1:15		8921240.010.00.05.04.02		TOL: +/- 1



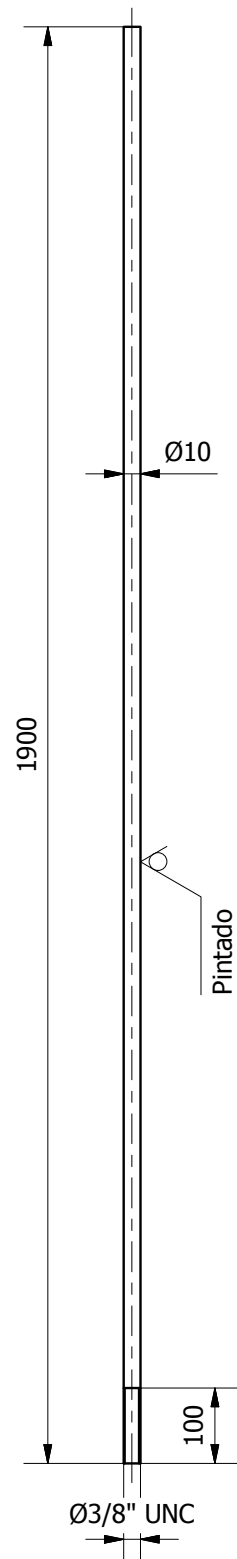
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	$\varnothing 10 \times 727$ mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
VARILLA 1 SOPORTE 4	Escala: 1:5	8921240.010.00.05.04.03			TOL: +/- 1



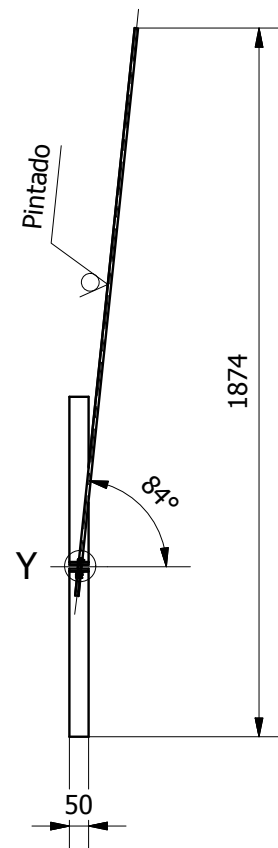
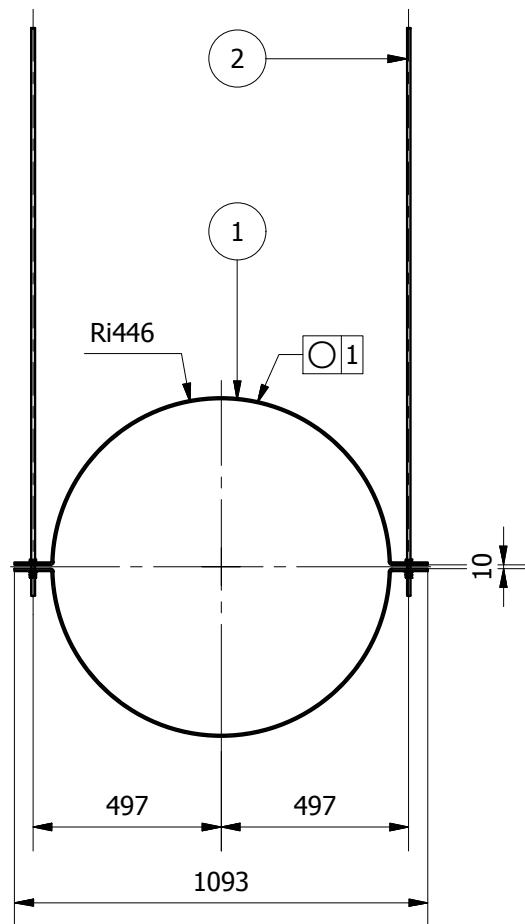
W (1 : 5)



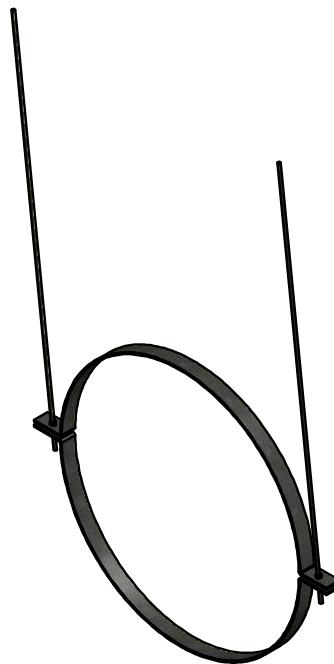
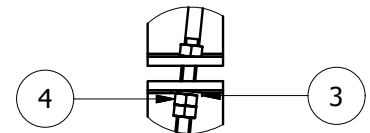
4	Tuerca hexagonal	4	ANSI B18.2.2	ACERO	Ø7/8" UNC	GALVANIZADO
3	Arandela plana	2	ASTM F436	ACERO	Ø7/8"	GALVANIZADO
2	Tubo cuadrado	1	Tubo formado en caliente DIN 59410	ASTM - 36	50 x 50 x 1094 mm	e= 3 mm
1	Varilla 1 soporte 5	2	8921240.010.00.05.05.01	ASTM - 36	Ø10 x 1905 mm	UNC
Ítem	Denominación	Cant.	Norma	Material	Dimensiones	Observaciones
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
SOPORTE 5			Escala: 1:20	8921240.010.00.05.05		Tol. Gral: +/- 1



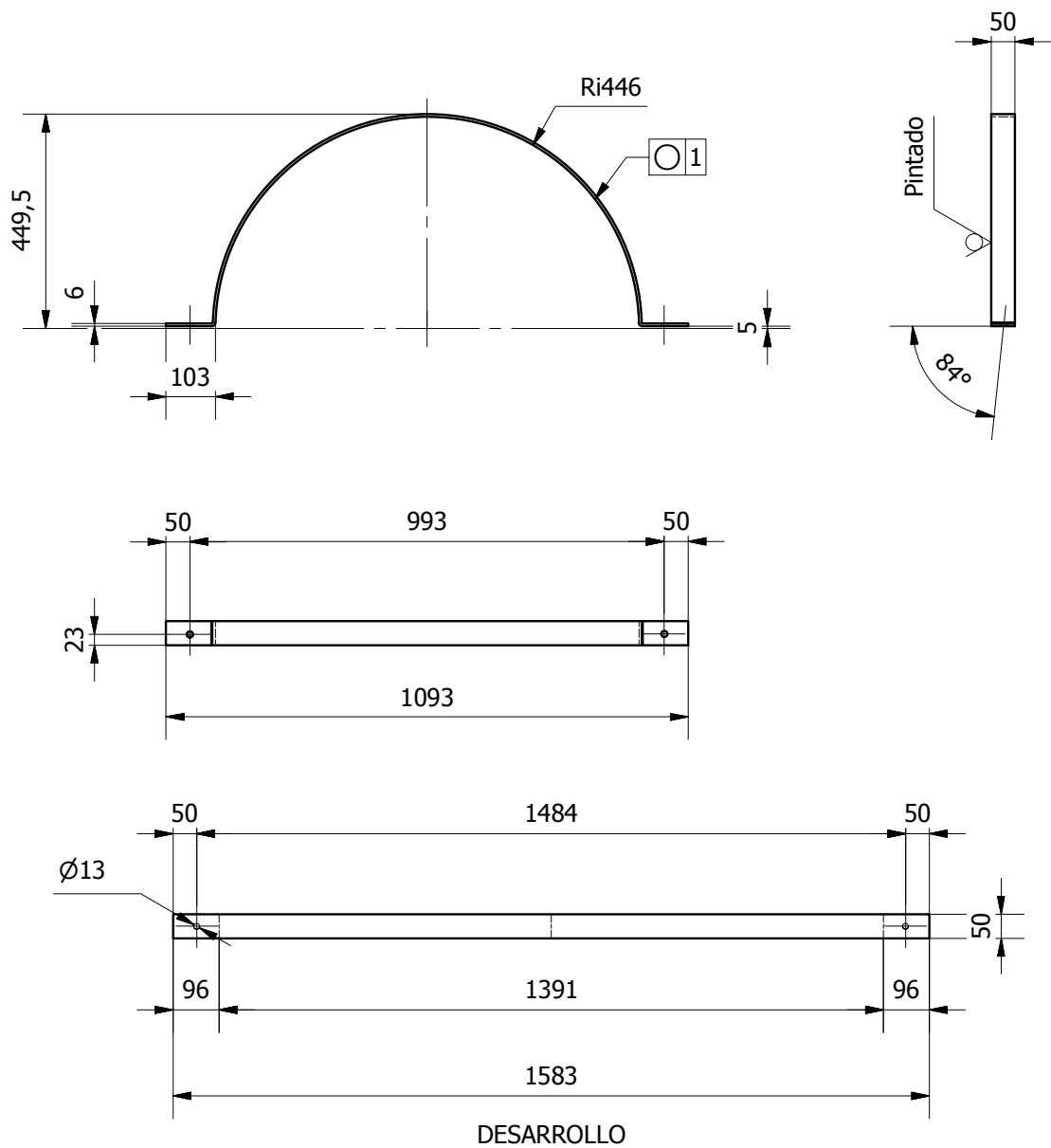
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	Dim Brutas:	
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA	ASTM A-36	Ø10x1905 mm	
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
VARILLA 1 SOPORTE 5	Escala: 1:10	8921240.010.00.05.05.01		TOL: +/- 1



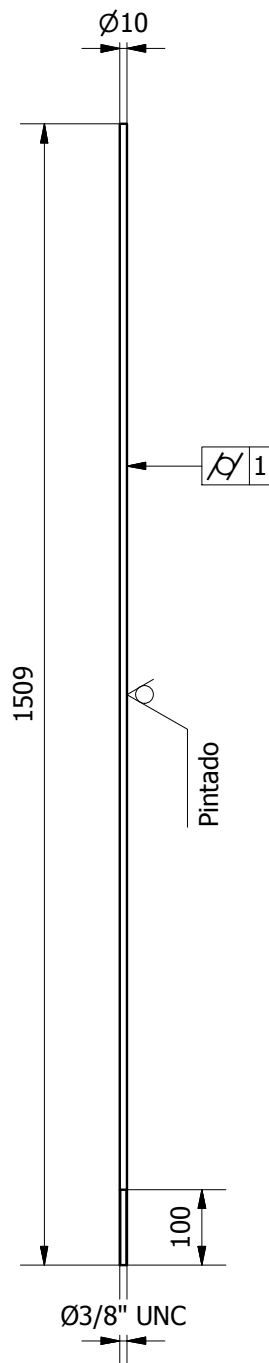
Y (1 : 5)



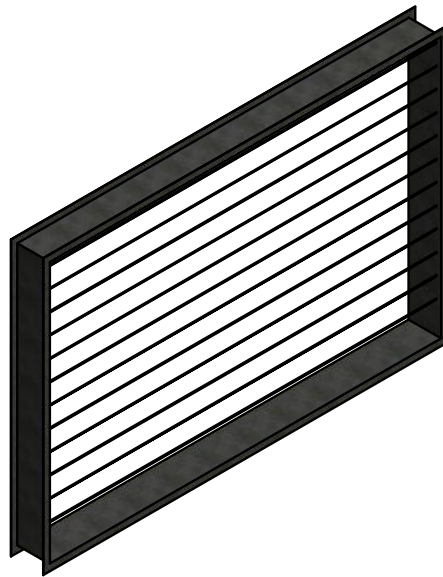
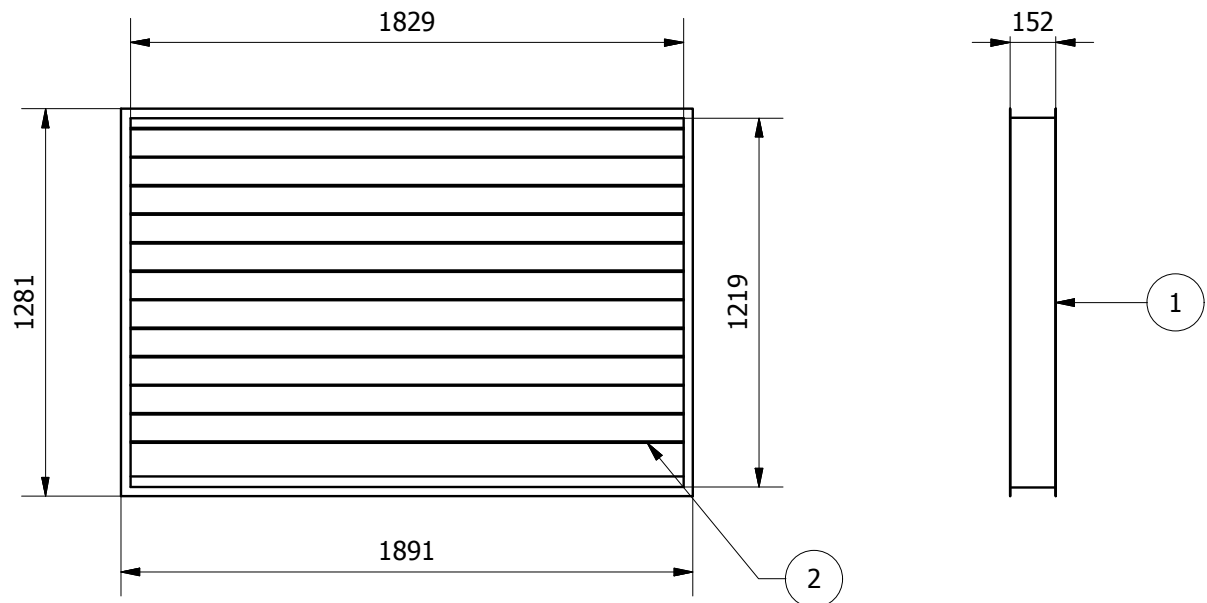
4	Tuerca hexagonal	6	ANSI B18.2.2	ACERO	Ø3/8" UNC	GALVANIZADO
3	Arandela plana	2	ASTM F436	ACERO	Ø3/8"	GALVANIZADO
2	Varilla 1 soporte 6	2	8921240.010.00.05.06.02	ASTM A-36	Ø10x1514 mm	PINTADO
1	Abrazadera 5	2	8921240.010.00.05.06.01	ASTM A-36	1588x50x6 mm	PINTADO
Ítem	Denominación	Cant.	Norma	Material	Dimensiones	Observaciones
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
SOPORTE 6			Escala: 1:20	8921240.010.00.05.06		Tol. Gral: +/- 1



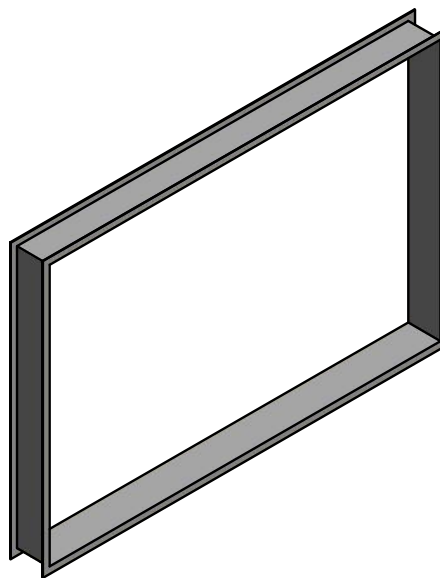
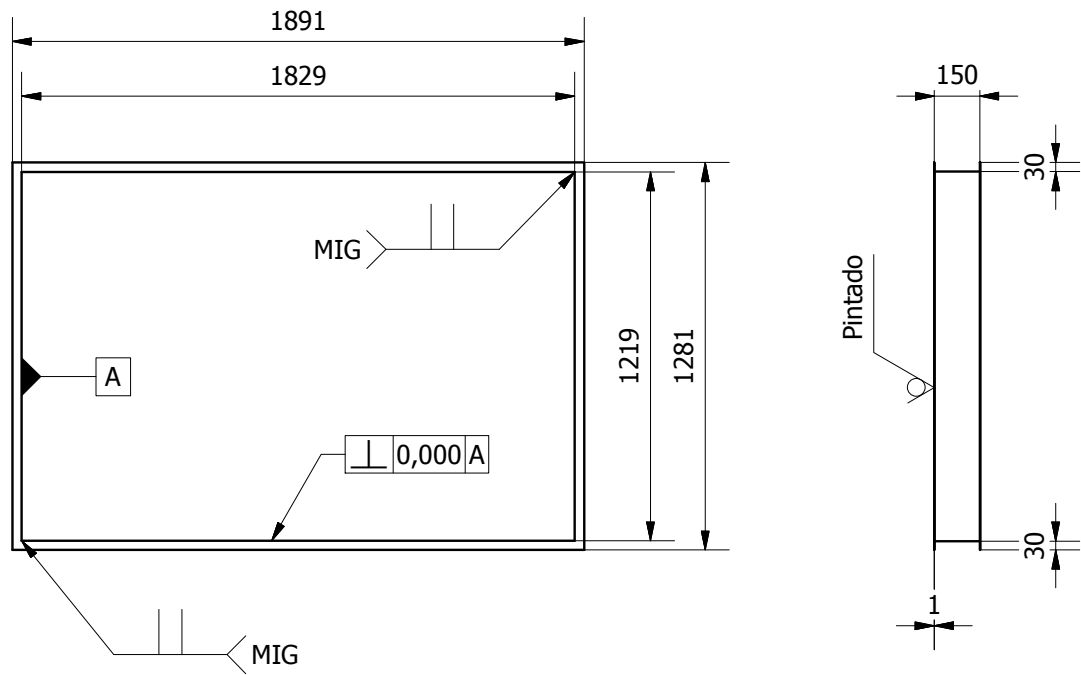
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	1588x50x6 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
ABRAZADERA 5	Escala: 1:10	8921240.010.00.05.06.01			TOL: +/- 1



Tratamiento Térmico:	NA	Material:	Dim Brutas:	
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA	ASTM A-36	$\varnothing 10 \times 1514$ mm	
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
VARILLA 1 SOPORTE 6	Escala: 1:10	8921240.010.00.05.06.02		TOL: +/- 1

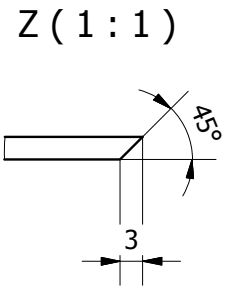
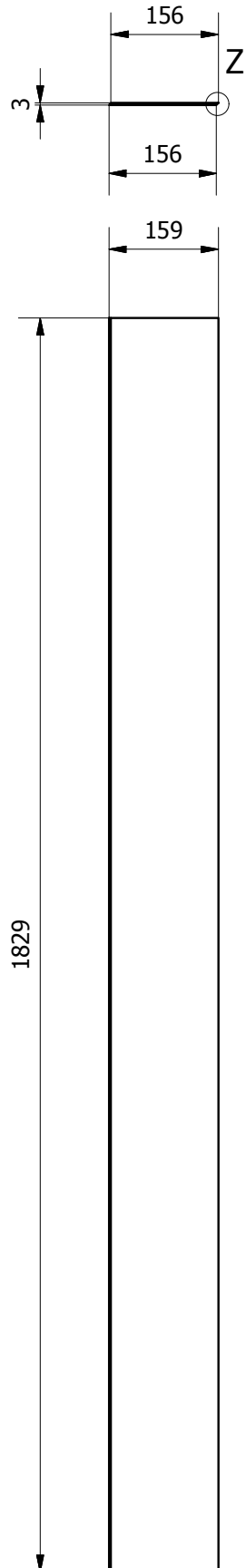


2	Placas louver	12	8921240.010.00.06.02	ASTM A-36	1834x164x3 mm	PINTADO
1	Marco louver	1	8921240.010.00.06.01	ASTM A-36	6349x215x152 mm	PINTADO
Item	Denominación	Cant.	Norma	Material	Dimensiones	Observaciones
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
LOUVER			Escala: 1:25	8921240.010.00.06		Tol. Gral: +/- 1

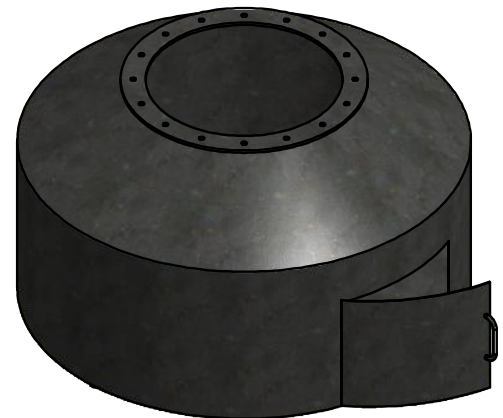
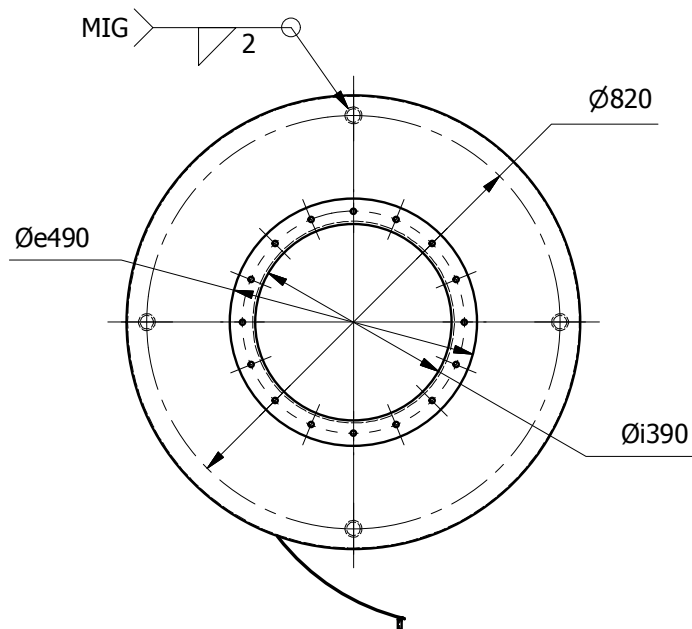
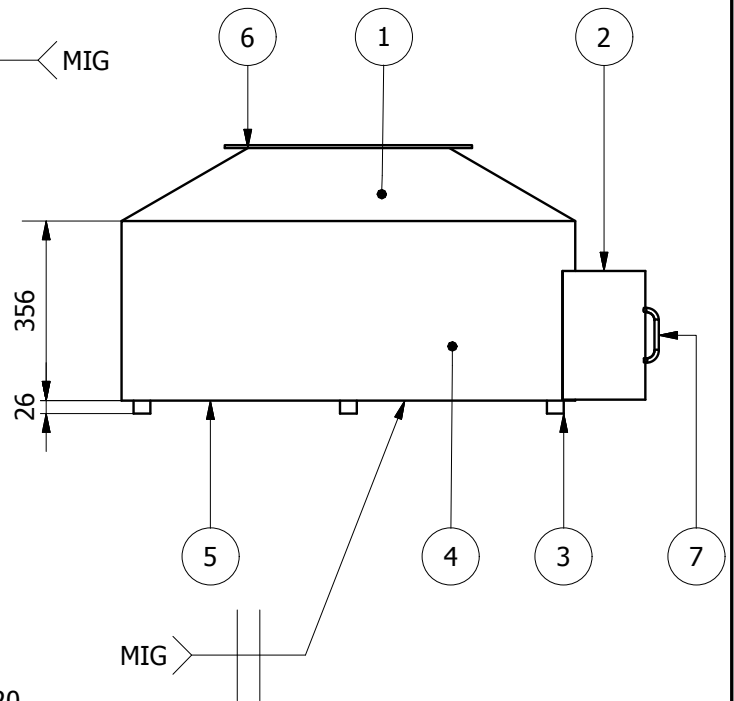
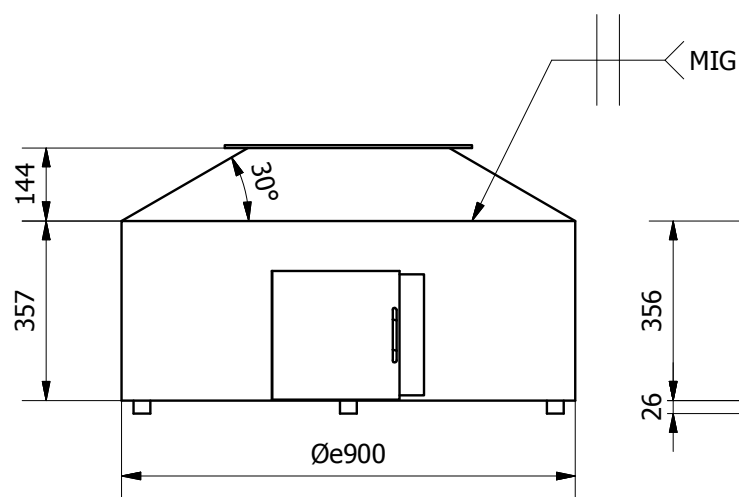


NOTA:
Espesor 1mm

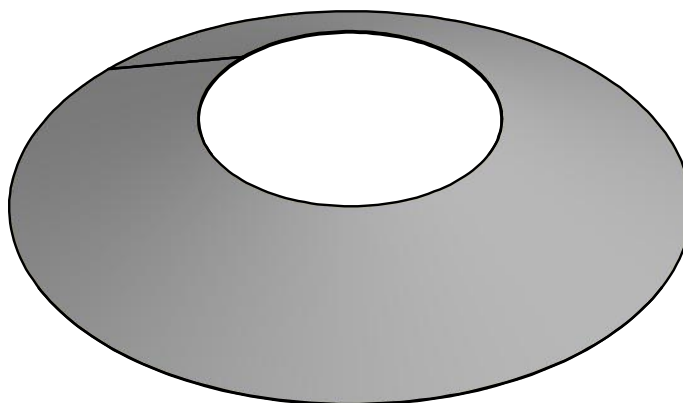
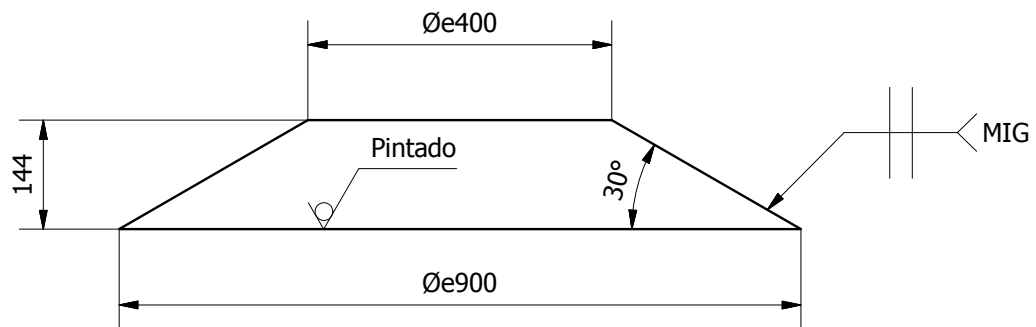
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				6349x215x1 mm
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
MARCO LOUVER		Escala:	8921240.010.00.06.01		TOL:
		1:25			+/- 1



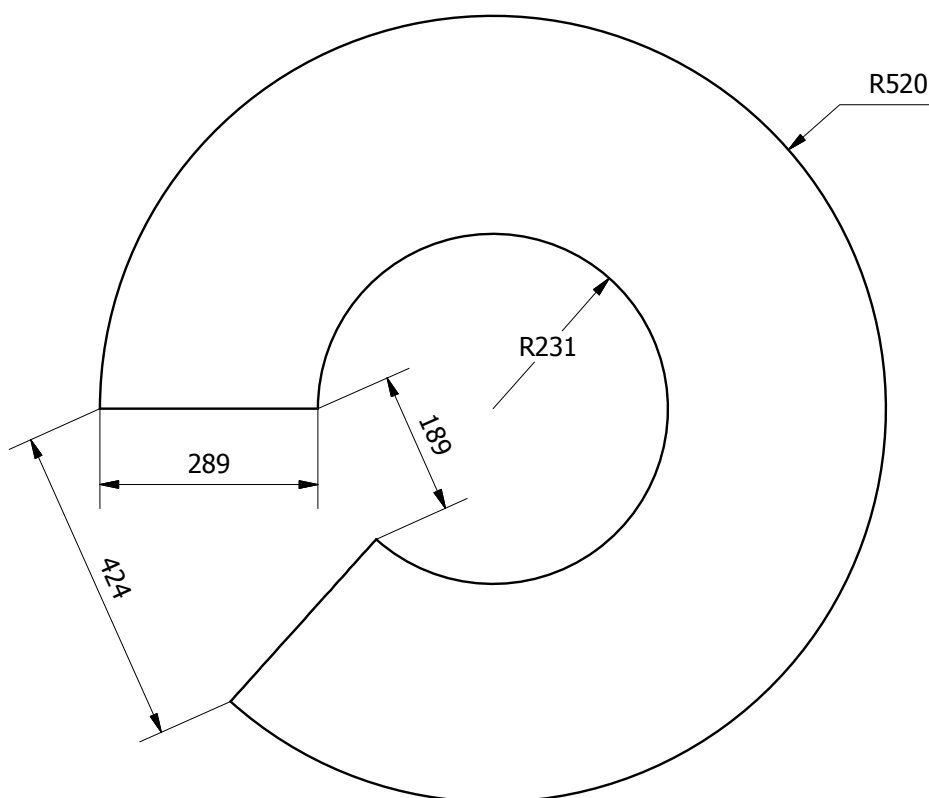
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	1834x164x3 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
PLACA LOUVER	Escala: 1:10	8921240.010.00.06.02			TOL: +/- 1



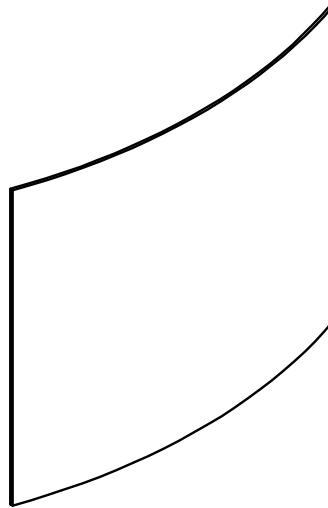
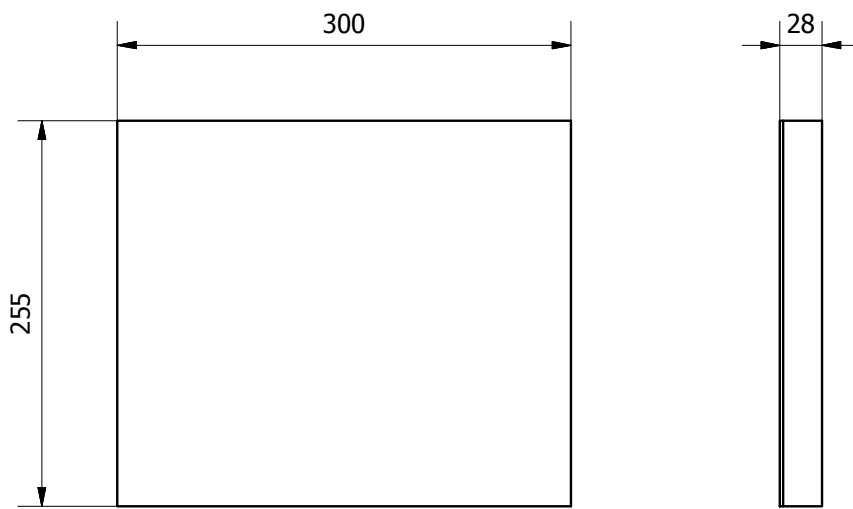
7	Manija	1	8921240.010.00.07.06	ASTM A-36	Ø8x138 mm	PINTADO
6	Brida de depósito	1	8921240.010.00.02.12	ASTM A-36	1387x60x6 mm	PINTADO
5	Base del depósito	1	8921240.010.00.07.05	ASTM A-36	Ø901x2 mm	PINTADO
4	Cuerpo del depósito	1	8921240.010.00.07.04	ASTM A-36	2825x362x2 mm	PINTADO
3	Patas del depósito	4	8921240.010.00.07.03	ASTM A-36	Tubo 1" SCH40 L=43 mm	PINTADO
2	Puerta del depósito	1	8921240.010.00.07.02	ASTM A-36	311x260x2 mm	PINTADO
1	Tapa del depósito	1	8921240.010.00.07.01	ASTM A-36	Ø1045x2 mm	PINTADO
Item	Denominación	Cant.	Norma	Material	Dimensiones	Observaciones
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014
				Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014
DEPÓSITO			Escala: 1:10	8921240.010.00.07		Tol. Gral: +/- 1



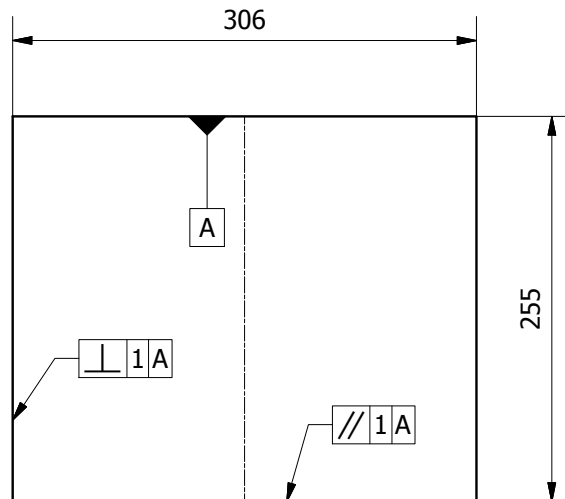
DESARROLLO



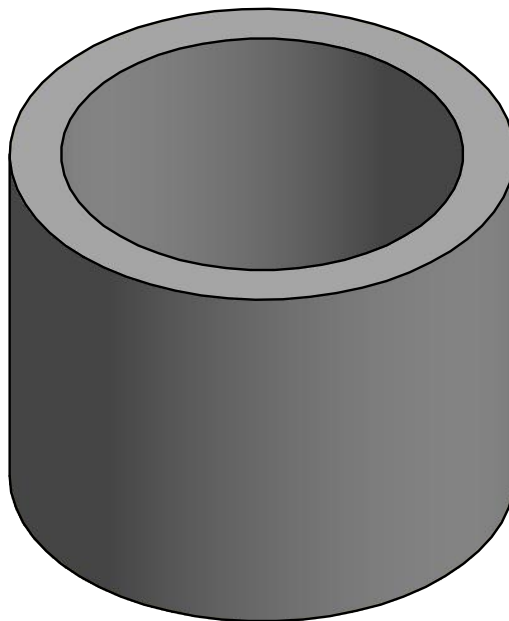
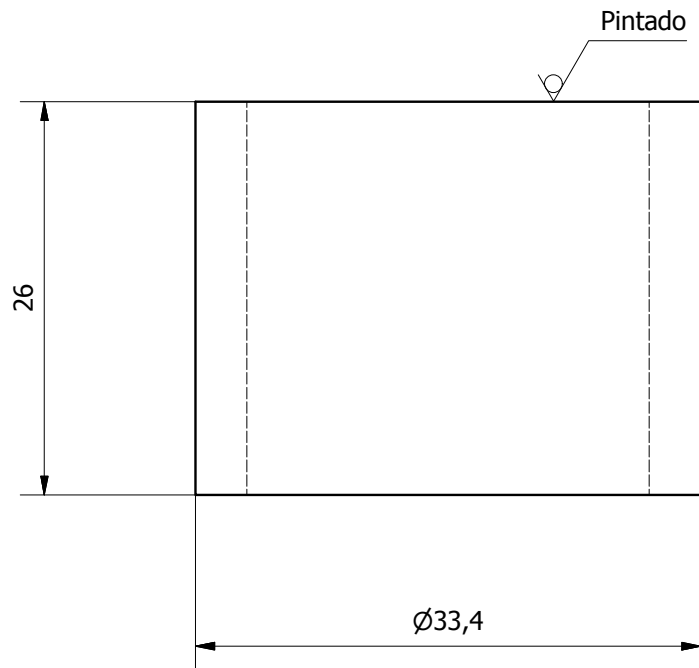
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	Ø1045x2mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
TAPA DE DEPÓSITO	Escala: 1:10	8921240.010.00.07.01			TOL: +/- 1



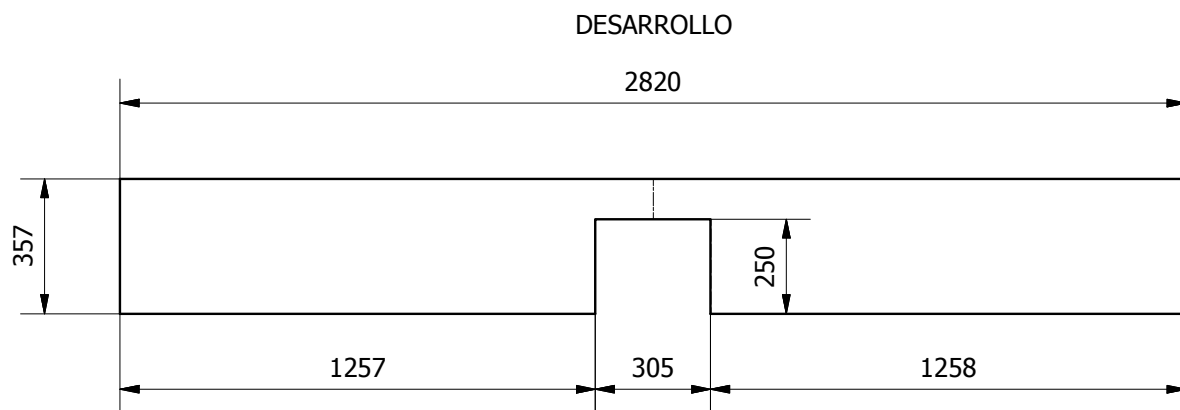
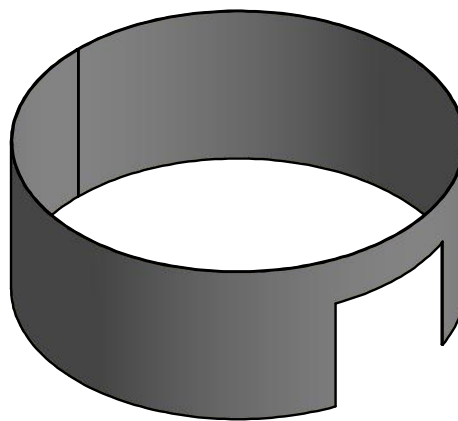
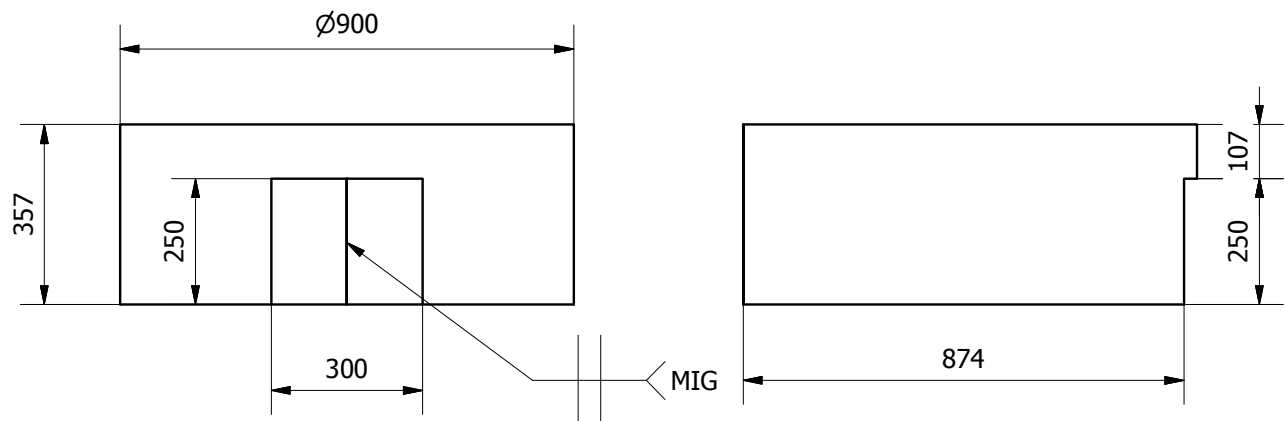
DESARROLLO



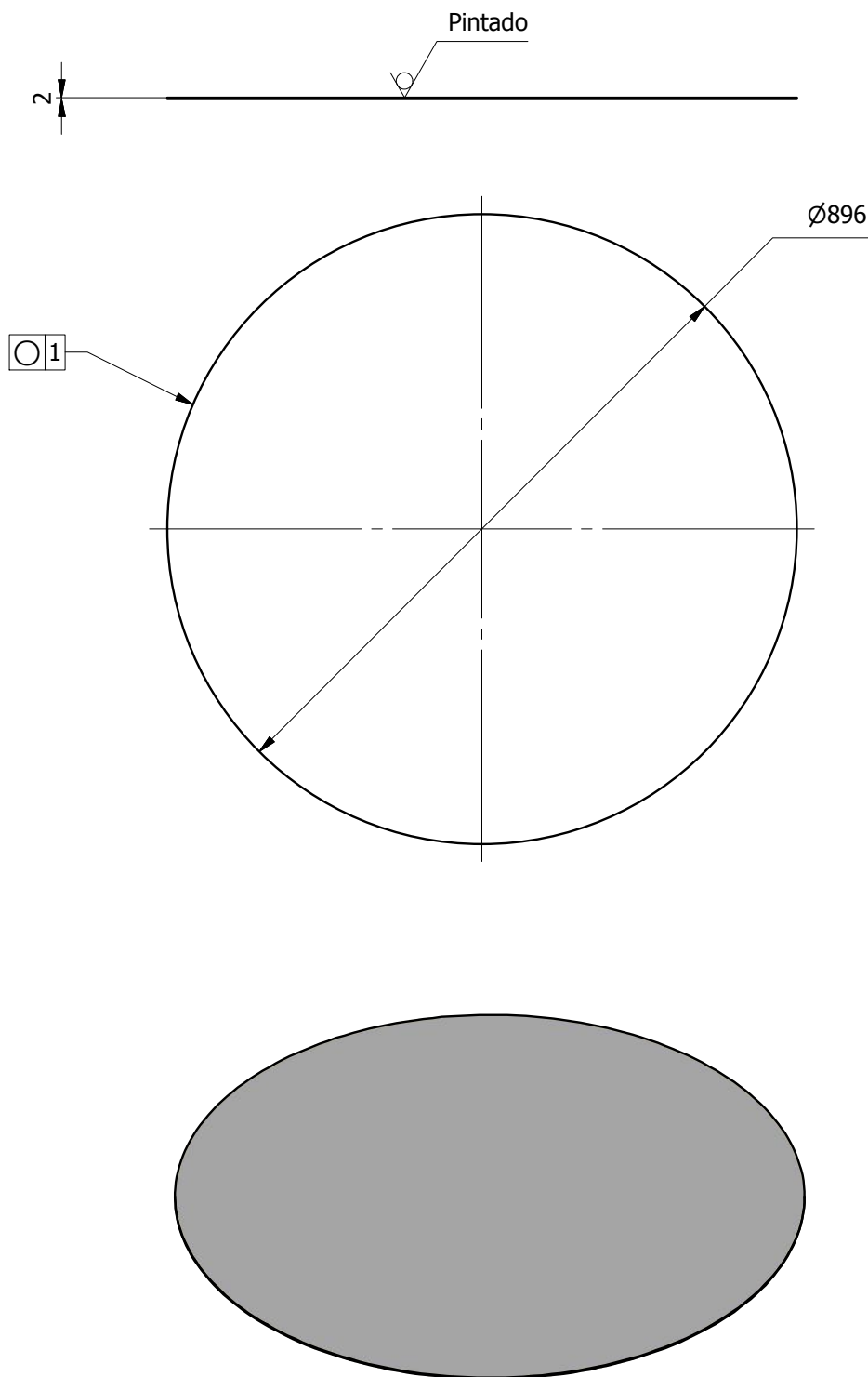
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	311x260x2 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
PUERTA DE DEPÓSITO	Escala: 1:10	8921240.010.00.07.02			TOL: +/- 1



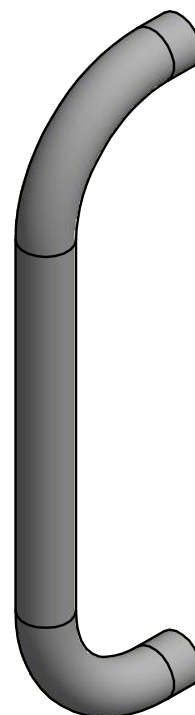
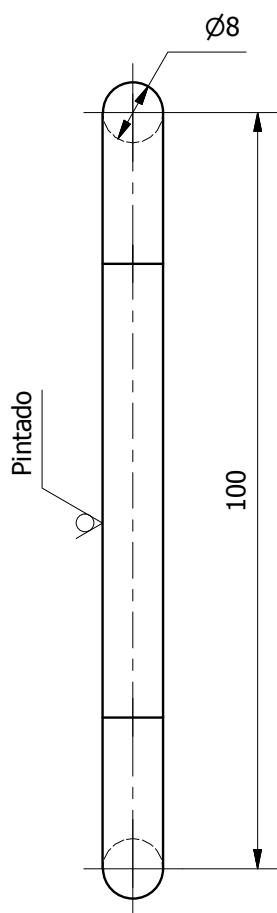
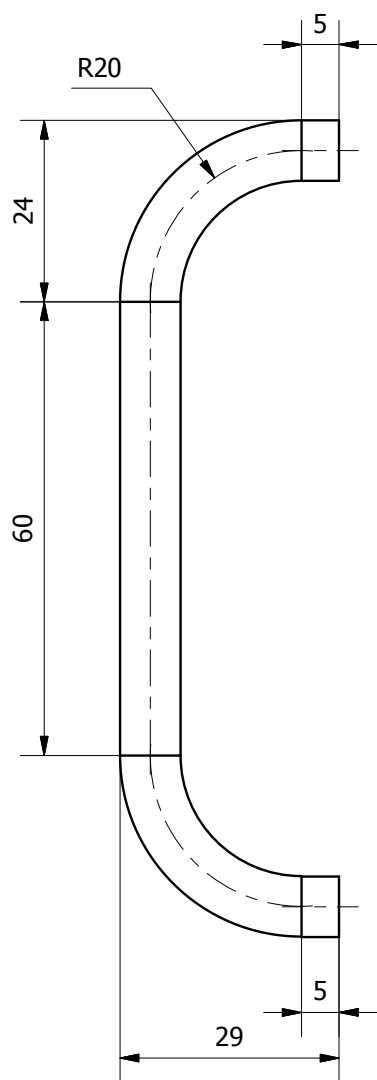
Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	Tubo 1" SCH40 L=43mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
PUERTA DE DEPÓSITO	Escala: 1:10	8921240.010.00.07.03			TOL: +/- 1



Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	2825x362x2 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseño:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
CUERPO DE DEPÓSITO	Escala: 1:10	8921240.010.00.07.04			TOL: +/- 1



Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36	Dim Brutas:	Ø901x2 mm
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica	UPS	Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
BASE DE DEPÓSITO	Escala: 1:10	8921240.010.00.07.05			TOL: +/- 1



Tratamiento Térmico:	NA	Material:	ASTM A-36		Dim Brutas:
Recubrimiento	PINTURA ANTICORROSIVA				Ø8x138 mm
Universidad Politécnica Salesiana Ingeniería Mecánica		Dibujó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Diseñó:	Almeida David / Molina Luis	19/04/2014	
		Revisó:	Ing. Fernando Larco	19/04/2014	
MANIJA		Escala:	1:1		TOL:
			8921240.010.00.07.06		+/- 1